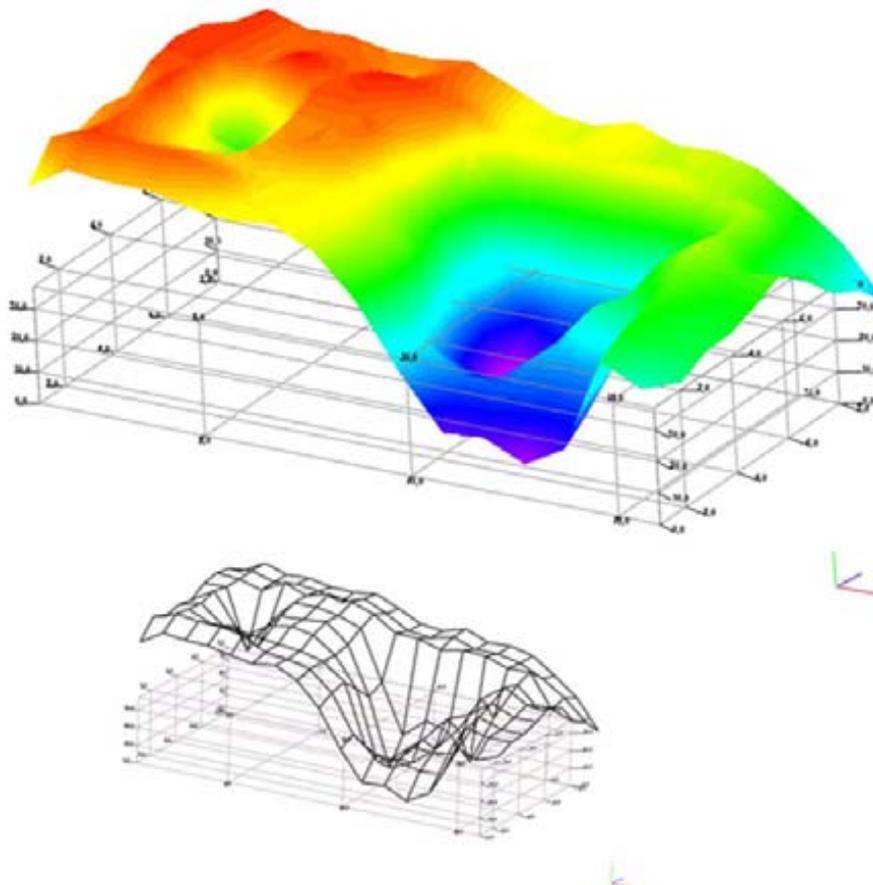


TEORÍA GEOESTADÍSTICA APLICADA AL ANÁLISIS DE LA
VARIABILIDAD ESPACIAL ARQUEOLÓGICA *INTRA-SITE*



Alfredo Maximiano Castillejo

Tesis Doctoral

2007

TEORÍA GEOESTADÍSTICA APLICADA AL ANÁLISIS DE LA
VARIABILIDAD ESPACIAL ARQUEOLÓGICA *INTRA-SITE*.

Alfredo Maximiano Castillejo

Tesis doctoral dirigida por el Dr. Juan A. Barceló Álvarez

Universidad Autónoma de Barcelona
Facultad de Letras
Departamento de Prehistoria

2007

INDICE

INTRODUCCIÓN	i-iii
Capítulo 1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO <i>ESPACIO</i>	1-75
INTRODUCCIÓN	1-2
1.1. ESPACIOS ABSTRACTOS	3-26
1.2. ESPACIO FÍSICO	27-41
1.3. ESPACIOS SOCIALES	42-61
1.4. ESPACIOS ARQUEOLÓGICOS	62-75
Capítulo 2 LA NATURALEZA LÓGICA DE LOS PROBLEMAS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA	76-117
INTRODUCCIÓN	76-79
2.1. EL PROBLEMA ESPACIAL EN ARQUEOLOGÍA	79-82
2.2. LA “OBSERVABILIDAD” DE LOS PROCESOS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA	82-85
2.3. LA CUANTIFICACIÓN DE LA RELACIÓN: NATURALEZA ESTADÍSTICA DE LOS PROBLEMAS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA	86-92
2.4. LA ESTADÍSTICA COMO VÍA DE ANÁLISIS DE LA <i>VARIABILIDAD ESPACIAL ARQUEOLÓGICA</i>	93-107
2.5. LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA ESPACIAL ARQUEO-LÓGICO	108-117

Capítulo 3 LA VARIABILIDAD ESPACIAL EN ARQUEOLOGÍA	118-173
3.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS. TIPOS DE DATOS ESPACIALES Y MODO DE ANALIZAR LA VARIACIÓN	118-125
3.2. ORGANIZACIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL	126-151
3.3. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS ESPACIALMENTE DIFERENCIADAS	152-158
3.4. MODELIZACIÓN ESPACIAL	159-164
3.5. INTERPRETACIÓN CAUSAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL	165-173
Capítulo 4 ANÁLISIS ESPACIAL DE POBLACIONES TEÓRICAS	174-236
INTRODUCCIÓN	174-175
4.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES <i>ALEATORIAS</i>	175-197
4.2. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES <i>AGREGADAS</i>	198-214
4.3. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES <i>UNIFORMES</i>	215-230
4.4. CONSIDERACIONES	231-236
Capítulo 5 ANÁLISIS ESPACIAL DE POBLACIONES EMPÍRICAS	237-321
5.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO	237-242
5.2. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA FAUNA DEL YACIMIENTO <i>TUNEL VII</i>	243-306
5.3. ANÁLISIS ESPACIAL DEL YACIMIENTO <i>FORTÍN OTAMENDI</i>	307-321
Capítulo 6 CONSIDERACIONES FINALES	322-330

ANEXOS	331-372
BIBLIOGRAFÍA	331-360
ANEXO FIGURAS	361-370
ANEXO TABLAS	371
ANEXO DE SOFTWARE APLICADO	372

AGRADECIMIENTOS:

La elaboración de una tesis no es una tarea exclusiva de la persona que la firma y defiende. Para poder realizar un trabajo de esta envergadura es necesario contar con diferentes tipos de *apoyos* y además el autor debe sentirse *respaldado* no sólo en su trabajo, sino que además en el estilo de vida que supone una labor de este tipo.

Esta tesis ha tenido la suerte de contar con ambos, el *apoyo* institucional, el de compañeros y colegas de trabajo. El *respaldo* de familiares y entrañables amigos que sin saberlo han aportado mucho más de lo que se imaginan para poder concluir esta tesis.

En primer lugar, agradezco a la Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR), entidad perteneciente a la Generalitat de Catalunya, la cual me ha brindado el soporte material necesario durante estos cuatro años a través de su programa de Becas Predoctorales (FI).

Agradezco a los miembros del *grupo* de investigación al que pertenezco, (Dpto. Prehistoria-Unidad asociada CSIC Milá i Montanals, Barcelona) por haber podido integrarme en dicho grupo de manera activa en diferentes proyectos durante estos cuatro años.

Quisiera mencionar a compañeros y colegas de trabajo que he tenido la suerte de encontrarme en esta etapa de mi carrera. Sin duda la lista es extensa y seguro dejaré a más de uno en el tintero debido a la poca práctica en estos menesteres, escribir agradecimientos.

En primer lugar me gustaría reconocer a una serie de personas donde empecé a formarme dentro del entorno de la Universidad de Granada: Dr. José Antonio Esquivel, Dr. Pedro Aguayo y Dr. Arturo Ruiz. A ellos mi agradecimiento por haber empezado a orientar mi carrera.

En mi incorporación a la Universidad Autónoma de Barcelona, recuerdo que fueron compañeros de doctorado los que me recibieron como si estuviera en casa y realmente lo estaba, mi reconocimiento a Camila, Patxi, Nacho, Quin, Selina, Miguel, Xavi, Carles,... Fue un gusto compartir clases y ratos de cafetería con todos ellos.

Mención especial tiene el “colega” Oriol Vicente, un maestro y arqueólogo todo-terreno, ánimos a ti también... ¡todo llega!

Gente de la Academia, pero de otras partes del mundo han influido no sólo en mi perspectiva científica, sino en aspectos de la Vida, evocar a los colegas chilenos Dr. Luis Felipe Bate y Alfredo Prieto, los argentinos Ernesto Piana, Dr. Gustavo Polítis, Martín Vázquez y Loncho Landa (arqueólogo y preseleccionado por los Pumas de Argentina: ¡que jugador!) de un poco más al norte, el Uruguay, el Dr. José López (Peppino). Todos ellos me llevan a recordar muy buenos ratos: ¡ojala podamos repetirlos pronto!

A gente de más al norte, como el Dr. Gary Lock y el Dr. Hans Peter Blankholm con los que he podido comprobar que en la Europa del Norte también tienen, como se dice en mi tierra, “*arte*”.

Regresando a la *Península*, no quiero dejar atrás a colegas como el Dr. Miquel Molist Montaña, el Dr. Xavier Clop, el Dr. Ferrán Borrel y la Dra. Enma Guerrero, gracias por vuestro apoyo y ánimo.

Mencionar a unos colegas entrañables y que para mí son unos referentes sobre temas científicos que trabajamos en común (los Canales Fueguinos y la Alta Garroxa) pero eso sí, tratados desde perspectivas distintas: Dr. Xavier Terradas y Dr. Ignacio Clemente.

A la Dr. Laura Mameli por sus ánimos y por su propia visión del mundo que en ocasiones ha sido un buen referente. No quiero olvidar a una pareja: Andrea Toselli y Jordi Pijoan (recientemente doctorado), mi reconocimiento por vuestro planteamiento de vida.

No sé si es correcto poner primero los *apoyos* o debía haber empezado evocando a aquellos que me han brindado su *respaldo* sobre mis acciones durante esto cuatro años. Sea como fuere, agradezco al amigo y compañero de “inquietudes pampeanas” Dr. Facundo Gómez Romero los buenos ratos que hemos pasado juntos, fuera de la Académica y también en la actividad científica que nos une y esperamos seguir desarrollando; a Sergio Muñoz, un amigo que desde el ámbito de la ingeniería me ha ayudado a entender mejor mi propia disciplina, por descontado, sin su ayuda en tantos problemas informáticos mi investigación no podría desarrollarse en la línea que había deseado; a un amigo que le va mucho la fiesta, como buen topógrafo que es: Grau Sabater, gracias por “despistarnos” alguna que otra vez.

Mención especial tiene el director de esta tesis, el Dr. Joan Antón Barceló Álvarez, gracias a él no sólo he aprendido aspectos propios de la investigación en arqueología (rigor científico, lógica a la hora de pensar y argumentar los problemas que tratamos en

nuestra disciplina) sino lo que creo que es más importante: talante a la hora de afrontar cosas que están más allá de la actividad científica. Admito que en ocasiones he sido un *acólito* díscolo y tozudo, pero gracias al buen hacer de mi director hemos sabido resolver esas situaciones. Muchas gracias por todo doctor Barceló.

Por supuesto un *respaldo* muy diferente es que he tenido por parte de mi familia, a mis padres: Rafael y Felisa, y a mis hermanos, en concreto a mi hermana Mari Carmen quien sabe un poco de estos “rollos” que nos traemos entre manos los arqueólogos, para ellos todo mi cariño.

Y por último, a mi mujer: Laura Gallardo, una persona que no sólo ha respaldado mi trabajo y mi vida en estos años, alguien que incluso, en determinados momentos ha creído más que yo mismo en la labor que he desarrollado, sin duda alguna gracias a ella este trabajo se ha podido realizar: *“Bueno mi vida, seguimos adelante con nuestros sueños, logramos cerrar esta etapa y ahora se nos plantean nuevas y magnificas ilusiones. Es una suerte seguir este viaje a tu lado.”*

Alfredo Maximiano Castillejo.

Barcelona, Diciembre 2007

INTRODUCCIÓN

*“Cualquier acción pública, que no sea habitual, o bien es errónea,
o, si es correcta, es un precedente peligroso.
Se sigue de ello que nada debería hacerse nunca por primera vez”.*

Francis Conford, 1878.

Esta tesis se centra en la reflexión teórica y la implementación metodológica del análisis de la variabilidad espacial en casos arqueológicos *intra-site* desde un enfoque geoestadístico y desde la perspectiva del espacio relacional (en oposición al modelo clásico de espacio contenedor).

Geoestadística es un término concebido por G. Matheron (Matheron, 1968) (a partir de trabajos previos de H. Sichel, D.G. Krige, y B. Matern), que sirve para definir a la ciencia aplicada, basada en el estudio de variables distribuidas espacialmente (*variable regional*). Una definición formal, la caracteriza como: *el estudio de las variables numéricas que se encuentran distribuidas de manera dependiente en una determinada porción del espacio* (Chauvet, 1994), es decir, cada valor observado perteneciente a una distribución, se encuentra asociado (está en función) a una posición espacial. Por consiguiente, el cambio en los valores de la variable, dependerá de su localización.

El argumento de la dependencia espacial es la piedra angular a la hora de poner en práctica los principios de la teoría geoestadística para tratar cualquier problema espacial, también en los casos de variabilidad espacial arqueológica.

Esta tesis pretende integrarse en esa perspectiva, para intentar comprender el problema espacial de la variabilidad en arqueología: ¿Por qué *a* está en (x, y, z...)?, y estudiar los instrumentos analítico-operativos empleados en su resolución.

Por tanto, el objetivo principal de esta tesis es, en primer lugar, establecer un discurso congruente que permita conectar el problema espacial arqueológico (en la escala *intra-site*) con la teoría de medida de la variabilidad espacial desarrollada desde la Geoestadística. En segundo lugar, optimizar la metodología implementada desde esta

ciencia aplicada, adaptándola a las particularidades y circunstancias propias de la variabilidad espacial en los problemas espaciales arqueológicos.

No es la primera vez que se intenta relacionar Geoestadística con análisis espacial arqueológico. De hecho, existe una serie de trabajos en esta línea, de los que se destacan tres obras:

- i. El trabajo de Zubrow, E. B. W. & Harbaugh, J. W. (1978), donde se implementa el algoritmo *Kriging* sobre variabilidad espacial arqueológica.
- ii. Whallon, R. (1984) acerca del método de deconstrucción de clusters, donde no se trata directamente con terminología geoestadística, pero sí que participa de la filosofía de dicha ciencia.
- iii. Lloyd, C. D. & Atkinson, P. M. (2004), un artículo teórico-práctico en el que se reconoce la relación que existe entre Geoestadística y Arqueología.

La utilidad de esta tesis no sólo radica en la novedad del tema a tratar (aplicación de Geoestadística en análisis *intra-site*), sino en la capacidad de reconocer la importancia de los trabajos realizados en este ámbito (Whallon, 1973, 1974; Hodder & Orton, 1976; Kintigh & Ammerman, 1982; Kintigh, 1990; Blankholm, 1991;..., entre otros), intentando aprender de sus logros y sus limitaciones.

Esta tesis se estructura en seis capítulos:

En el capítulo 1, se realiza un estudio analítico del concepto *espacio*, partiendo de las nociones básicas sobre los “diferentes tipos de espacio (abstracto, físico y social)” para concluir en un discurso que define el *espacio arqueológico* como una realidad compuesta de elementos físicos y sociales, los cuales se pueden expresar en términos abstractos (Topología y Métrica).

El capítulo 2 se centra en el estudio del problema espacial arqueológico. Para ello, se realiza un estudio del estado de la cuestión en función de una selección bibliográfica que permite realizar una contextualización del mismo y que supone un punto de partida para el estudio minucioso del problema de la variabilidad espacial, destacando los

trabajos de Hodder & Orton, 1976; Kinting, 1990; Wünsch, 1991; Orton 2004; Orton 2005, Conolly & Lake 2006. A continuación, se define el problema espacial y sus ámbitos de solución desde la perspectiva propuesta por esta tesis.

El capítulo 3 trata aspectos estrictamente analíticos, seleccionando una serie de técnicas geoestadísticas para el estudio de la variabilidad espacial arqueológica, que permitan dar respuesta al problema arqueológico, descrito en el capítulo 2.

En el capítulo 4, se aplican las técnicas seleccionadas en el capítulo 3 sobre poblaciones teóricas, lo que permite controlar una serie de aspectos y evaluar diferentes circunstancias y las posibles implicaciones, que puedan producirse con poblaciones empíricas.

En el capítulo 5, se aplican las técnicas seleccionadas en el capítulo 3 sobre poblaciones empíricas. Para ello, se han seleccionado dos casos arqueológicos muy diferentes en los que se intenta ilustrar tanto la capacidad analítica de las herramientas utilizadas, como la capacidad interpretativa sobre los resultados obtenidos.

En el último capítulo (6), se exponen una serie de reflexiones/consideraciones finales, con el objetivo de enunciar, en primer lugar, las necesidades, los límites y los problemas inherentes a la hora de aplicar esta metodología en casos arqueológicos. En segundo término, se defiende la validez y la potencialidad del método implementado, junto a las múltiples posibilidades, que puede aportar la aplicación de esta metodología.

Capítulo 1

APROXIMACIÓN AL CONCEPTO *ESPACIO*

Índice General

INTRODUCCIÓN

1.1. ESPACIOS ABSTRACTOS:

- 1.1.1. Topología y Métrica: Dos enfoques complementarios de *percepción y comprensión* espacial.
- 1.1.2. Espacio-Tiempo.
- 1.1.3. Espacios Vectoriales.

1.2. ESPACIO FÍSICO:

- 1.2.1. Discontinuidad en el *Espacio físico*.
- 1.2.2. El Gradiente como significado del *Espacio físico*.
- 1.2.3. Dinámica del *Espacio físico*.

1.3. ESPACIOS SOCIALES:

- 1.3.1. Nociones sobre el Espacio social.
- 1.3.2. Consideraciones dialécticas del Espacio social.
- 1.3.3. Espacio Geográfico.

1.4. ESPACIOS ARQUEOLÓGICOS:

- 1.4.1. Naturaleza y descripción del *Espacio arqueológico*.
- 1.4.2. Formalización métrica y topológica del *Espacio arqueológico*.
- 1.4.3. Dinámica del espacio arqueológico

INTRODUCCIÓN

“No se puede tener primero *espacio* y después *cosas* para poner en *él*, del mismo modo que no se puede tener primero una sonrisa y luego un gato de Cheshire en donde ésta encaje.”

A. North Whitehead

La polisemia acerca del concepto *Espacio* es amplia, pero todas las posibles acepciones sobre lo espacial suelen (o deberían) estar vinculadas a la idea intuitiva de *un conjunto, extenso, determinado de individuos, ítems, entidades (...) que guardan algún tipo de relación entre sí*. Necesariamente a la noción básica de *espacio*, se asocian otros conceptos fundamentales que afirman su significado. De manera muy sintética, la caracterización de lo espacial debe partir de los conceptos de *Localización, Relación y Dimensionalidad*. En base a dichos conceptos se puede establecer una aproximación a los problemas espaciales objeto de estudio.

Por *localización*, se entiende de manera intuitiva, la acción de fijar, cerrar entre ciertos límites la realización de un fenómeno. El término *relación* implica la noción de asociación entre diferentes elementos de un conjunto. Por último, la *dimensionalidad* se refiere a cada una de las magnitudes que sirven para definir a determinada entidad. Empero, el estudio de lo que se llama *Espacio*, se convierte en determinar *límites, correspondencias y medidas* entre ciertas entidades. Así que, sea cual sea la naturaleza de los individuos, entidades,..., que se encuentren *localizados, relacionados y dimensionados*, se darán distintos tipos de *espacios*. Dentro de esta variedad, en las siguientes páginas se hace hincapié sobre unos determinados *espacios*:

- i. *Espacios abstractos*, estructuras espaciales, regidos estrictamente por los principios de la lógica matemática. En esta aproximación a los *espacios abstractos*, se tratan nociones como: topología, métrica, dimensionalidad, el espacio-tiempo y el espacio vectorial.
- ii. *Espacio físico*, es aquella estructura que trata sobre la *localización* de los elementos del mundo real, las *relaciones* empíricas entre ellos y la

dimensionalidad que caracteriza a la fenomenología investigada. En el espacio *físico*, las entidades son materiales y el tipo de relación suele asociarse con la dinámica de causa-efecto (en ocasiones muy compleja) bajo las constricciones de la materia, energía y entropía (grado de ordenamiento de la estructura).

- iii. *Espacio social*, es un tipo de estructura espacial en la que las *entidades* localizadas son agentes sociales (personas, instituciones,...) los cuales llevan a cabo diferentes *procesos de trabajo*, como elemento relacional con otros agentes (sociales o no) vinculados en razón al *proceso de trabajo* en cuestión, que los relaciona y que está dimensionado en base al conjunto extenso de acciones sociales de producción, consumo, distribución y reproducción.
- iv. *Espacio arqueológico*, es un conjunto extenso y limitado de localizaciones materiales, las cuales son resultado de acciones de origen social (y también de origen natural) que se realizaron en un *lugar* y un *momento* del pasado. El *espacio arqueológico* parte de unas entidades de tipo estrictamente material: *efectos*, es decir, una colección extensa de objetos en los que se ha producido cierta inversión de trabajo humano (Clark, 1968). El tipo de relación suele asociarse al de causa-efecto, en el que las acciones causales parten de la noción de *trabajo* y los efectos, se engloban en una red extensa de consecuencias materiales de dicho *trabajo*.

En las siguientes páginas se desarrolla una síntesis de los distintos *espacios* enunciados anteriormente, mediante los cuales se tratan un conjunto de nociones necesarias para poder acometer con ciertas *garantías de éxito* la comprensión de la presente tesis. Con ello, se pretende hacer hincapié en la complejidad que alberga el objeto de estudio de este trabajo: Análisis de la variabilidad espacial en casos arqueológicos *intra-site*.

1.1. ESPACIOS ABSTRACTOS

Los *espacios abstractos* son conjuntos de entidades matemáticas que se encuentran configurados a través de una serie extensa de posibles relaciones lógico-formales, lo que implica que existirán tantos *espacios abstractos* como posibilidades lógicas de relación existan entre la estructura y los individuos pertenecientes al conjunto. Consecuentemente, un *espacio abstracto* será un conjunto de elementos que se encuentran vinculados entre sí por medio de algún tipo de estructura que respete determinadas condiciones de lógicas.

Una *localización* en un *espacio abstracto* no es tanto un “lugar” (en el sentido físico que se le suele atribuir al término) sino que será un conjunto de diferencias/similitudes entre elementos/entidades que constituyen ese “tejido espacial”. Por consiguiente, el problema de localizar consiste en buscar el subconjunto o partición del conjunto de *entidades* que contenga una determinada propiedad. La variante más simple y no trivial de la *localización* es la búsqueda en una lista, en la que se encuentren determinadas características que permitan particularizar a una determinada porción.

El concepto *propiedad*¹ es básico a la hora de entender *localización*, ya que al observar cierta *propiedad* que varía según la localización que ocupe en una estructura relacional, se podrá establecer los límites de dicha propiedad.

La noción de *Relación*, es una expresión que vincula a dos o más objetos entre sí. Una *relación* se postula en base a la correspondencia entre los elementos de dos conjuntos que forman *pares ordenados*, donde un *par ordenado* es una colección de dos elementos tal que uno puede ser distinguido como el *primero*, y el otro como el *segundo*. Un par ordenado con primer elemento *a*, y segundo *b* es escrito usualmente como (a, b) . Dos pares ordenados cumplen:

$$(a, b) = (c, d) \iff a = c \wedge b = d$$

El conjunto de todos los pares ordenados en los cuales el primer elemento se toma de un conjunto *X* determinado y el segundo de un conjunto *Y*, se llama *producto cartesiano*

¹ Se entiende *propiedad* como el conjunto de atributos o cualidades esenciales de un objeto.

de X e Y , escrito $X \times Y$. De manera formal, una *relación* se puede definir como *producto cartesiano*, que es un producto directo de conjuntos.

En particular, el *producto cartesiano* de dos conjuntos: X y Y , denotado por $X \times Y$, es el conjunto de todos los pares ordenados en los que el primer componente pertenece a X y el segundo a Y :

$$X \times Y = \{(x, y) \mid x \in X \wedge y \in Y\}.$$

Un *producto cartesiano* es el *conjunto* de todos los pares ordenados posibles. Un par ordenado se escribe de la siguiente forma: (x, y)

Si « x » e « y » son dos objetos matemáticos, el objeto (x, y) se llama «par ordenado de primera componente x , y segunda componente y ». Por definición la relación $(x, y) = (x', y')$ equivale a: $x = x'$; $y = y'$

Sean A y B , dos objetos cualesquiera, no vacíos, se llama *producto cartesiano* de A por B , al conjunto de todos los pares ordenados de primera componente en A y segunda componente en B y lo anotaremos « $A \times B$ »; por tanto:

$$A \times B = \{ (x, y) \mid x \in A, y \in B \}$$

Así que, las *relaciones* pueden ser tantas como tantos tipos de vinculación se puedan establecer. A continuación, se exponen algunas de las más comunes:

- i. Relaciones Binarias; siendo este tipo de relación un caso particular de correspondencia.
- ii. Relaciones n-arias; que son la generalización de la relación binaria. Estas relaciones se clasifican según el número de conjuntos en el producto cartesiano, en otras palabras, el número de términos en la expresión:
 - Relación unaria: $R(x)$.
 - Relación binaria: $R(x, y)$.
 - Relación ternaria: $R(x, y, z)$.
 - Relación cuaternaria: $R(x, y, z, t)$.

Las relaciones con más de 4 términos generalmente se llaman *n*-arias, por ejemplo, "una relación 5-aria".

- iii. Relaciones de Orden, sirve para secuenciar una sucesión.
- iv. Relaciones de Equivalencia, sirve para igualar pares, triadas, ..., que tienen propiedades semejantes.

El concepto *Relación*, se encuentra estrechamente vinculado con el concepto *Localización*, ya que la diferencia entre los valores de una misma *propiedad* en dos o más *localizaciones* definirán el tipo de *relación* que exista en ese par de localizaciones. Las relaciones pueden ser expresadas de manera *cualitativa* o *cuantitativa*. La *primera*, es un ejercicio de descripción (ya sea de forma verbal o booleana) que represente la presencia o ausencia de las propiedades cualitativas a las que se hace referencia. La expresión *cuantitativa* de la relación es la *operación* por la que se asignan números que representen el grado en que un objeto o fenómeno tenga la propiedad cuantitativa a la que se ha hecho referencia.

La definición matemática de esta medida de la diferencia entre *localizaciones* es lo que se denomina con el término: *Distancia*, siendo aquella una magnitud escalar que mide (cuantitativamente) la relación de lejanía entre dos puntos.

Para que exista *distancia* se debe cumplir que la diferencia entre puntos (que caracterizará a objetos, entidades, fenómenos,..) sea:

- i. No negativa,
- ii. Nula sólo cuando dos objetos se superponen, y
- iii. Si dicha *distancia* verifica la desigualdad triangular.

El término *Dimensión* se define como el número mínimo de medidas que pueden especificar a una *localización* (Banchoff & Giblin, 1987). La *dimensionalidad* entendida desde una óptica eminentemente cualitativa, analiza el *espacio* como su topología (espacios topológicos, refiriéndose al número de recubrimientos que presenta un objeto).

1.1.1. Topología y Métrica: Dos enfoques complementarios de percepción y comprensión espacial

Nociones de Topología:

La Topología es una rama de las Matemáticas, que estudia las características cualitativas de los espacios. El análisis topológico se basa en las *cualidades de la localización, relación y dimensionalidad*, que existe en una determinada región espacial, teniendo presente que el tipo de información que aporta un análisis topológico suele ser geoméricamente incompleto.

El argumento fundamental de la Topología se centra en torno a la noción de: "*relación de proximidad*", estableciéndose una formulación precisa, objetiva y útil acerca de lo que viene a significar espacialmente el concepto: *Estar próximo a...*

Un *espacio topológico* se caracteriza por la naturaleza de las relaciones que vinculan a sus elementos. Así que, la expresión de la relación en base a las *distancias* entre las diferentes *localizaciones* se suele definir, usando las operaciones básicas de: **Unión** e **Intersección** de conjuntos, sin recurrir a operaciones aritméticas o algebraicas más complejas. El resultado es una expresión cualitativa y no exacta de la distancia que exista entre entidades.

De manera formal, un *espacio topológico* consiste en un conjunto \mathcal{C} de individuos y un orden o estructura relacional². Según K. Janich (Janich, 1984) los espacios topológicos se encuentran caracterizados por medio de la determinación de una serie de propiedades que se puedan definir sobre la región del espacio objeto de estudio. De manera muy sintética, para el desarrollo de la presente tesis, se destacan tres:

- i. Determinación de la presencia/ausencia de Conjuntos Cerrados y Conjuntos Abiertos.
- ii. Criterios de *vecindad* entre conjuntos abierto.
- iii. Determinar la pertenencia de un punto a un subconjunto en tanto a las nociones de *punto interior, exterior o frontera*.

² Llamada comúnmente *topología*

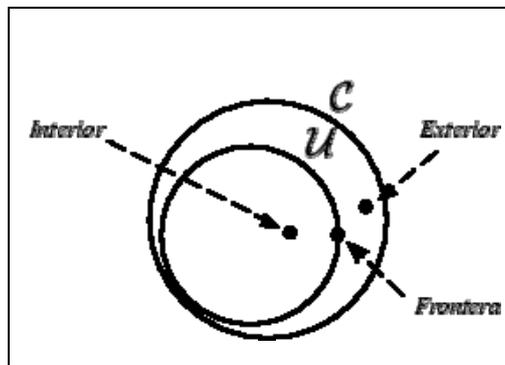


Figura 1: Esquema topológico de las posibilidades de pertenencia de un punto.

El estudio de los *Espacios Topológicos* proporciona las herramientas conceptuales básicas para analizar cualquier tipo de *espacio*, por consiguiente:

1. Todo *espacio* puede caracterizarse topológicamente en términos de:
 - a. *Puntos*, que están aislados o forman parte de una cadena (vértices o nodos).
 - b. *Líneas* –cadenas, arcos o bordes- es una línea que forma parte de uno o más polígonos identificado a través de sus nodos (inicial y terminal) y por los polígonos de su derecha e izquierda de su dirección.
 - c. *Polígono*, anillo compuesto por una o más cadenas (un anillo se inicia y se acaba en el mismo nodo). Los polígonos complejos contienen uno o más anillos internos.
 - d. *Volumen*, composición de polígonos o polígono-recta en diferentes direcciones espaciales.

2. Muchos de los conceptos/terminología empleada en la caracterización y descripción de cualquier tipo de *espacio* pasa por ciertas nociones topológicas.

Los conceptos *distancia*, *densidad*, *frontera*,... son percibidos y aprendidos desde el análisis topológico. Algunas nociones topológicas que a continuación se muestran, permiten hacer una caracterización espacial en tanto a la *localización* (límite entre las entidades...) y la *relación* (diferencias cualitativas).

Básicamente, el uso de la topología se centra en la definición de relaciones espaciales entre puntos, líneas y polígonos. Con ello, se alcanza una definición de:

- *Contiguidad* o similitud entre elementos que tengan características similares.
- *Conectividad*, en la que se establecen conexiones entre entidades.

Para establecer criterios topológicos de *localización*, se parte de la noción de *frontera* o *límite*, es decir, la demarcación según determinados atributos de entidades en una determinada región espacial. Para ello, se usan los conceptos de:

- Compacidad:** Un conjunto será compacto si no es posible que sus elementos "*tiendan a estar menos relacionados*".
- Densidad** en Topología, se reconoce a un conjunto como denso en el *espacio* si aquel está "*cerca de todos los puntos*" de ese mismo *espacio*. De manera más precisa: *un conjunto es denso si su clausura es todo el espacio*. Esto implica un elemento más particular y muy interesante: la *separabilidad*, la cual se produce cuando un *conjunto* tiene algún subconjunto denso y numerable.
- Separación**, define si una topología permite tener entornos distintos para puntos que son disímiles, es decir, si dos puntos (o dos subconjuntos) son o no distintos.

En base a lo anterior, se puede establecer la definición espacial cualitativa acerca de conceptos como: *Interior*, *exterior* y *frontera*.

Se dice que $x \in X$, es un **punto interior** de A , si: A es entorno de x . Así que, el conjunto de los puntos interiores a A es un conjunto abierto, denominado **Interior de A**, que se caracteriza por:

$$Int(A) \quad (\text{Siendo el mayor conjunto abierto incluido en } A)$$

Un punto $y \in X$, se dirá que es un **punto exterior** a A si: $X \setminus A$ es entorno de y . Así mismo, el conjunto de los puntos exteriores a A , es otro conjunto abierto, denominado **Exterior de A** y denotado por:

$Ext(A)$.

Un punto $z \in X$ se dice que es un punto *frontera* de A si todo entorno V de z es tal que $V \cap A \neq \emptyset$ y $V \cap (X \setminus A) \neq \emptyset$. Al conjunto de los puntos frontera de A se le denomina **Frontera de A** y se denota por:

$Fr(A)$ (La frontera de A es un conjunto cerrado)

Los tipos de *Relación* posibles (o distancias cualitativas) dependerán de los siguientes *principios*:

Adyacencia o **Vecindad**: Dos entidades son topológicamente adyacentes si existe una vinculación directa entre ellas. Esto implica que exista una relación, que una dos entidades y permita una ordenación relativa de las entidades con respecto a la relación.

Inclusividad: Es una relación lógica que se da cuando la totalidad de los elementos que componen el conjunto A están incluidos en o pertenecen al conjunto B , pero no al revés. Por lo tanto, se corresponde con una relación de jerarquía (todo/parte). La relación $A < B$ es importante en el momento de establecer ecuaciones lógicas de búsqueda en la recuperación de la información, sobre todo, porque la opción por el término A o el término B determina el nivel de especificidad de la consulta. Como consecuencia de lo anterior, se produce lo que se denomina **Región común**, que es un conjunto de elementos que están localizados de manera muy próxima en una misma región y que generalmente, presentan una serie de características similares.



"Behind one door is tenure - behind the other is flipping burgers at McDonald's."

Copyright © 2003 David Farley, d-farley@biblio.org

Nociones de Métrica:

En Matemáticas, un *espacio métrico* es un tipo particular de *espacio abstracto*, donde la *distancia* entre puntos se define de manera cuantitativa. En este *espacio* la medida de la *relación* de las propiedades que definen y caracterizan a las distintas *localizaciones* son estrictamente *escalares*. Esto conduce a que al *localizar, relacionar y dimensionar* se haga desde una el concepto *magnitud escalar*.

El tipo de información que aporta el análisis métrico, en oposición al topológico, es geoméricamente completo. Como se ha comentado anteriormente, en los *espacios métricos* prima lo escalar, pero ¿qué se entiende por *escalar*? En Física, una magnitud es *escalar* cuando puede representarse con un único número (única coordenada) invariable en cualquier sistema de referencia. Sin embargo, en Matemáticas, se denomina *escalar* a los elementos de un cuerpo (en algunos casos también a los elementos de un anillo), que generalmente suelen ser números y que de manera particular, se utiliza para distinguir los vectores en el Álgebra Lineal y en cualquier rama que use módulos o espacios vectoriales.

Según lo anterior, un *campo escalar* es una función:

$$R^n \rightarrow R$$

Esta función también es conocida como *función escalar*. Se utiliza generalmente para indicar una distribución de magnitudes físicas en una determinada región espacial.

El ámbito de aplicación está orientado a la descripción de fenómenos relacionados con algún tipo de distribución. Matemáticamente, un *campo escalar* es una función $\Phi(\vec{r})$, cuyo valor depende del punto del espacio en que se encuentre. Se expresa de la siguiente manera:

$$\Phi = \Phi(\vec{r}) = \Phi(x, y, z),$$

(\vec{r}) es un vector de coordenadas cartesianas (x, y, z) , que representa la posición del observador en el espacio físico. Según esto, se define la noción de *superficie equipotencial* (F_0), que corresponde al lugar geométrico de los puntos con potencia (valores) iguales:

$$\Phi(\vec{r}) = \Phi_0.$$

Un ejemplo recurrente e intuitivo, son las curvas (*isolineas*) de los mapas bidimensionales realizadas en topografía, mediante las cuales se representan regiones que están a una misma cota, y la variación métrica de alturas en un determinado relieve.

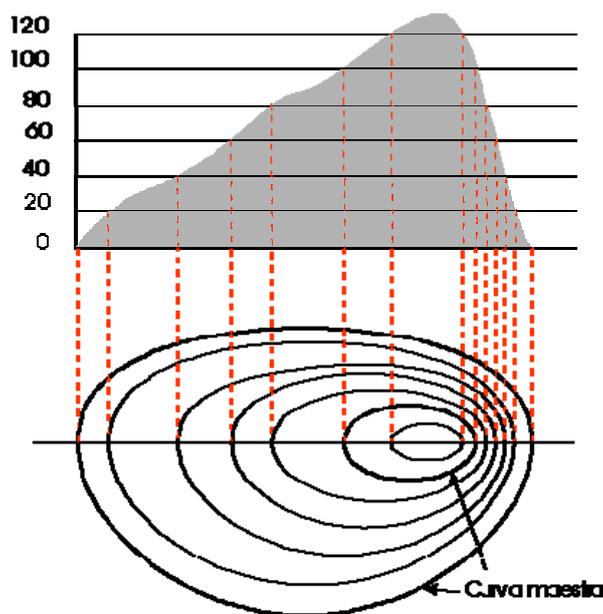


Figura 2: representación de la generación de curvas de nivel.

La definición formal de *distancia métrica* (tras haber definido función escalar, superficie equipotencial) para un conjunto de localizaciones X es una función binaria (en el caso de un par de puntos) $d(a,b)$ de $X \times X$ en \mathbb{R} , como:

$$d(x, y) = |x - y| \quad (\text{para todo } x \text{ e } y \text{ números reales})$$

Su consecuencia es el llamado *Espacio discreto*, es decir, cualquier conjunto sobre el que se defina la *distancia*, tal que cumpla:

$$d(x, y) = 1, \text{ si } x \neq y,$$

$$d(x, y) = 0, \text{ si } x = y$$

Para que la *distancia* entre los elementos de un determinado espacio sea *métrica*, debe cumplir las siguientes condiciones:

- i. La *distancia* es siempre un número real mayor a o igual a cero. Cuando los puntos x e y en M son distintos, entonces la distancia será un número estrictamente positivo.
- ii. Si la localización de los puntos es la misma, la distancia entre aquellos es cero.
- iii. La *distancia* no depende del sentido desde el que se mida, es decir, la *distancia* desde x hasta y es igual a la *distancia* desde y hasta x .
- iv. La última propiedad, conocida como la *desigualdad triangular*, establece que si los tres puntos x, y, z , forman los vértices de un triángulo, entonces la suma de dos lados es siempre mayor o igual que el tercer lado.

Aplicando estos principios al caso de un conjunto \mathcal{C} (*espacio metrizable*) y suponiendo que existe una función real d que ordena (relaciona) los distintos elementos de \mathcal{C} son, tal que:

$$(C_i, C_j) \in \mathcal{C} \times \mathcal{C}$$

Ese espacio será métrico si sólo si cumple:

i. $d(C_i, C_j) \geq 0 \quad \forall \quad C_i, C_j \in \mathcal{C}$

ii. $d(C_i, C_j) = 0 \Leftrightarrow C_i = C_j$

iii. $d(C_i, C_j) = d(C_j, C_i)$

iv. $d(C_i, C_k) \leq d(C_i, C_j) + d(C_j, C_k)$
(Desigualdad triangular).

Si sólo si se cumplen esas condiciones, entonces: \mathcal{C} será un *espacio métrico* y d una *distancia* o *métrica* sobre \mathcal{C} (P. R. HALMOS, 1950).

Según lo anterior, uno de los *espacios métricos* más sencillos y usados, es el denominado **Plano euclideo**, que se caracteriza porque R^2 está formado por todos los pares ordenados de números reales (x, y, z) .

Se representa geoméricamente mediante un plano y los *elementos* del mismo son los puntos contenidos en dicho plano, que se identifican mediante las coordenadas cartesianas. En R^2 se define una *distancia* entre los puntos mediante la siguiente fórmula:

$$d(X, Y) = \sqrt{(y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2}$$

Donde $X = (x_1, x_2)$ y $Y = (y_1, y_2)$, son puntos de R^2 .

Esta fórmula define una métrica sobre R^2 . Las propiedades enunciadas anteriormente (i, ii, iii) son fáciles de identificar. Para verificar la propiedad iv, se hace uso de la desigualdad:

$$ab + cd \leq [(a^2 + c^2)(b^2 + d^2)]^{1/2}$$

(a, b, c y d números reales)

Esta distancia métrica se llama *distancia euclídea* y suele ser la más utilizada, permitiendo desarrollar un conjunto de operaciones básicas mediante las cuales se obtienen múltiples medidas de relación. Este tipo de *distancia* es la que se usa en los análisis desarrollados en la presente tesis.

El concepto de *dimensionalidad métrica* se define como una especie de “cantidad” necesaria para poder expresar cualquier elemento de/en un espacio determinado en términos de una combinación lineal de todos los elementos que lo componen. Esto conduce a la siguiente cuestión: ¿Qué sucede con la *dimensionalidad* de cada elemento o del conjunto que se ha denominado *espacio*? No se necesita de ningún número para identificar a un individuo o entidad aislada. Si sólo se tiene una cosa, no se puede discriminar entre ella y otra cosa. Por eso un *punto*, es decir, una *localización aislada*, tiene una dimensionalidad igual a 0. Si se dan dos puntos, se precisa un solo parámetro para definir la “localización” del otro en términos del primero: la *distancia* entre ambos. Si lo que se tiene son tres puntos, se necesitan dos parámetros: la *distancia* entre el punto A y el punto B y la *distancia* entre el punto A y el punto C...

Por tanto, la *dimensionalidad* de un espacio dado será siempre $n-1$, donde n es el número de localizaciones posibles (elementos) en dicho espacio.

Empero, una *dimensión* se expresa en términos de una combinación lineal de las localizaciones. De ahí que si las localizaciones están relacionadas geoméricamente (una línea, un plano, etc.), el número de *dimensiones* será muchísimo menor, pues no será necesario tomar en consideración todas las distancias entre todas las localizaciones, sino las *distancias* con respecto a las combinaciones lineales, que pueden calcularse fácilmente considerando que la *matriz de distancias* entre todos los puntos puede convertirse en una *matriz de distancias angulares entre vectores*. El resultado es un sistema de *coordenadas*, definidas como el conjunto de valores que caracteriza a un

punto en un conjunto de ejes ortogonales (un eje para cada dimensión necesaria), en los que cualquier punto (localización) puede ser especificado. En el caso de tres combinaciones lineales de dimensiones, se puede representar geoméricamente el *espacio euclídeo* (x, y, z) resultante mediante un *volumen* (la tridimensionalidad) y los elementos del mismo, son los puntos de dicho volumen que se identifican mediante tres coordenadas:

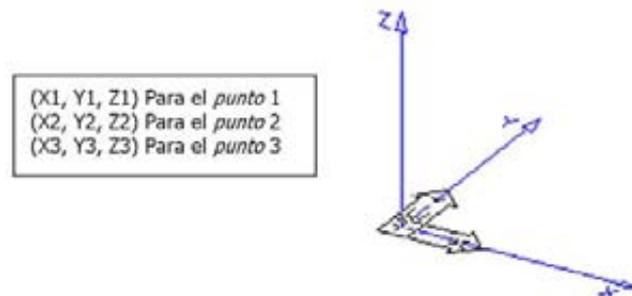


Figura 3: Esquema de espacio tridimensional.

Obviamente, las estructuras relaciones de tres dimensiones no son las únicas posibilidades, ya que se pueden encontrar espacios de más dimensiones, donde los distintos puntos pueden ser *localizados* por/desde esa multidimensionalidad mediante n coordenadas.

A modo de síntesis, los *espacios métricos* se utilizan para estudiar determinados problemas espaciales en base a una perspectiva escalar. La principal cualidad/característica de estos espacios se centra en la expresión cuantitativa de las relaciones espaciales: la *distancia*, por la cual se establece la *relación* espacial en base a un determinado valor, que atribuye el límite de la *relación* espacial. Una segunda característica, es la dimensionalidad que alberga dicho espacio.

Los *espacios topológicos* y *métricos* no son perspectivas opuestas ni excluyentes, sino que cada cual permiten alcanzar una determinada solución acerca del principal problema espacial: conocer la *localización*, *relación* y *dimensionalidad* que existe entre las diferentes entidades que conforman un determinado *espacio*. Por tanto, en función de la perspectiva con la que se realice el análisis, se desarrollarán un conjunto de medios para la resolución de la investigación espacial planteada. Una cuestión a tener en cuenta es la posibilidad de establecer nexos entre ambas *perspectivas*, permitiendo así alcanzar

una mejor caracterización de la problemática espacial objeto de estudio. Entender, cuanto sea posible, la *localización, relación y dimensionalidad* espacial existente en términos cualitativos (eminentemente topológico) y cuantitativos (eminentemente métrico), es conocer mucho mejor el tipo de variabilidad espacial investigada.

Frente a este modelo ideal, en ocasiones, y debido a las circunstancias de la investigación, las necesidades, o el objeto de la misma, sólo hace posible analizar el problema espacial en base a una u otra perspectiva (topológica o métrica) con lo que el ámbito de solución se ciñe a un determinado contexto. De tal modo que, en condiciones apropiadas, la mejor solución al problema de la variación espacial será un acertado conocimiento acerca de la *vecindad* topológica y de la *distancia* métrica. En base a estos dos elementos se podrá derivar todo un conjunto de implicaciones espaciales que permitan caracterizar el comportamiento espacial.

1.1.2. El Espacio-Tiempo

El *espacio-tiempo* es la referencia cognitiva que permite:

- i. Estructurar la percepción del *cambio*.
- ii. Establecer *secuencias ordenadas* en el mismo en diferentes tipos de conjuntos. Como *entidad geométrica*, el *espacio-tiempo* considera unificado los parámetros de *localización, relación y dimensionalidad* en base a los términos de *sucesión, duración y extensión*.

La *extensión* de una localización corresponde a la suma de todas las localizaciones vinculadas a una misma relación. De manera más formal, el concepto algebraico de *cuerpo* se describe como un conjunto en el que las operaciones de *suma y producto* son definidas y operativas. Por ello, cuando se investiga la *extensión de una entidad*, lo que se realiza es una búsqueda de un conjunto más grande en el que las operaciones de *suma y producto* se cumplan.

La *sucesión* imprime orden al cambio y además, establece el correlato dinámico de la extensión, que es la *duración*. Formalmente, el tiempo es bidimensional, pues abarca aspectos de *sucesión* (orden) y *duración* (intensidad), estableciendo una especie de “*direccionalidad*” de los diferentes procesos de cambios y pudiendo de este modo, mostrar una especie de *secuencia* acerca de los procesos dinámicos.

A través de la *sucesión*, se establece la posibilidad de vincular diferentes *espacios* en los cuales se parte desde unas *relaciones* y *cualidades* hacia *otras* presentes y/o futuras. En otros términos: El *tiempo* es orden de *espacios*. Por consiguiente, si el estudio de la *extensión* define la dimensionalidad del espacio, el estudio de la *sucesión* define la dimensionalidad en el tiempo.

Una sucesión es una aplicación definida sobre los enteros naturales. Por convención, se escribe u_n en vez de $u(n)$ la imagen de n por la sucesión u , o sea el término número $n+1$ de la sucesión u (el primer término es habitualmente u_0).

$$\begin{aligned} u : \mathbb{N} &\rightarrow \mathbb{R} \\ n &\rightarrow u_n \end{aligned}$$

Las *sucesiones* pueden ser definidas de diversas formas, aquí y de manera aproximada, se ha seleccionado la *definición explícita*. Esta se cumple cuando se da una fórmula que permita hallar u_n mediante un cálculo único, donde no interviene otra variable: u_n es una función de n : $u_n = f(n)$

Es el caso representado por el gráfico, donde la función es polinomial, los términos de la sucesión se componen por puntos rojos, que equivaldrían a los *espacios*, (= *localizaciones particulares*) representado en las *ordenadas*. Mientras que en el eje de la *abscisa* equivale a los valores de los enteros naturales que toma la sucesión.

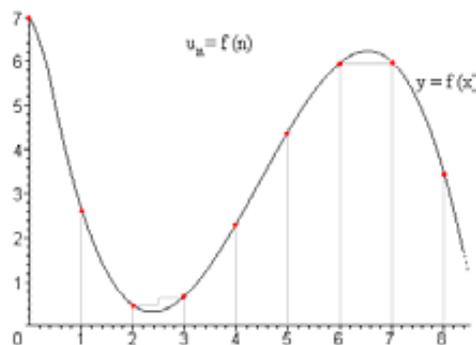


Figura 4: Esquema de una sucesión definida explícitamente.

Existen diferentes modos de *sucesión* en un determinado conjunto de *espacios*, las más comunes son las sucesiones *aritméticas* y las *geométricas*:

a. Una **sucesión aritmética** es definida como una función de n , tal que:

$$u_n = u_0 + r \cdot n \quad (r \in \mathbb{R})$$

También, puede ser definida por inducción de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} u_0 &= a & (a \in \mathbb{R}) \\ u_{n+1} &= u_n + r & (r \in \mathbb{R}) \end{aligned}$$

Denominando al número real r como **razón** de la sucesión.

Si la razón es positiva, la sucesión **crece**, y tiende hacia $+\infty$; mientras que si es negativa, **decrece** y tiende hacia $-\infty$. Si es nula, la sucesión es **constante**.

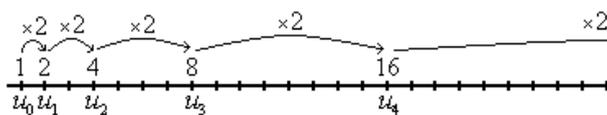
b. Una **sucesión geométrica** puede ser definida como función de n :

$$u_n = b \cdot r^n \quad (r \in \mathbb{R})$$

También puede ser definida por inducción de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} u_0 &= b & (b \in \mathbb{R}) \\ u_{n+1} &= r \cdot u_n & (r \in \mathbb{R}) \end{aligned}$$

Al número real r se le denomina también **razón** de la sucesión. A menudo se la denota q , por ejemplo:



El comportamiento de la *sucesión geométrica* depende del signo del primer término y del valor de su razón. Si la razón es positiva, entonces la sucesión es **monótona**, y tiene

un aspecto muy regular, que se puede prolongar por una función de tipo exponencial de base r :

$$u_n = b \cdot r^n$$

Se prolonga en $f(x) = b \cdot r^x$.

Se distinguen cuatro casos, como se ve en la siguiente figura las ordenadas de los puntos negros son los valores de la sucesión, es decir, cambios de estado en el *espacio* objeto de estudio; y la curva representa a la *función* que lo caracteriza:

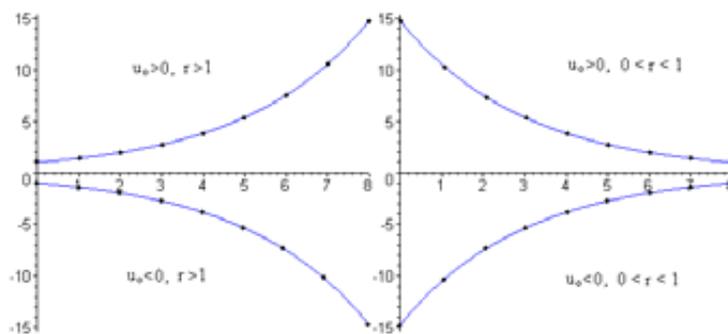


Figura 5: Esquema de las formas que pueda adoptar una sucesión.

Si la razón es negativa, entonces la sucesión es **oscilante**. Se distinguen dos casos en función de si r es menor que -1 ó no. El signo del primer término no modifica el *aspecto general* de la sucesión (cambiar de signo equivale a una simetría alrededor del eje horizontal y aquí no se nota mucho). En la siguiente figura se ha multiplicado la función $|r|^x$ por el factor $\cos \pi x$ para simular el cambio periódico de signo.

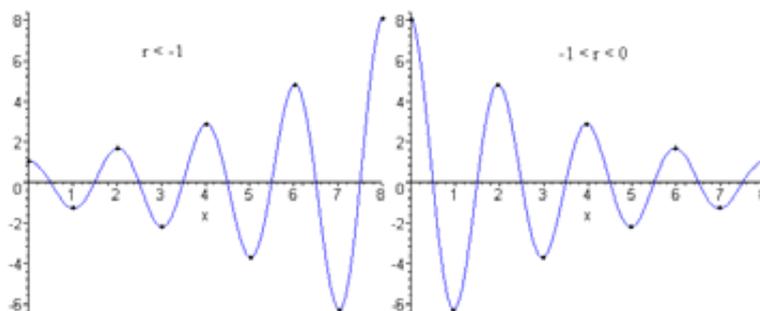


Figura 6: Esquema de sucesiones oscilantes.

Descartando estos casos particulares, se dice que la convergencia de la sucesión depende del valor absoluto de la razón:

si $|r| > 1$, no converge, y si $|r| < 1$, converge hacia cero.

Por tanto, la *sucesión* sea del tipo que sea, permite describir los diferentes estados de cambio de una misma estructura espacial, estableciéndose las nociones mínimas sobre la dinámica del cambio. Dentro de la *sucesión de espacios*, se encontrarán diferentes tipos de *duraciones*, lo que influirá en la dinámica de la estructura espacial.

El *espacio-tiempo* no sólo se trata desde cuestiones vinculadas estrictamente a la *sucesión*, *duración* y *extensión*. Estos parámetros sirven para caracterizar dicha *estructura abstracta*, pero por sí mismos no abarcan toda la complejidad del espacio-tiempo. Para ello, es necesario plantear esta cuestión desde algunas nociones de carácter ontológico y epistemológico.

El referente básico acerca de la relación entre *extensión-sucesión*, se refleja en el planteamiento realista-relacional de Leibniz (Pareja, 1963; Ovejero y Maury, 1970) donde el concepto *espacio* se entiende a modo de una solución *compleja y radicalmente* diferente a las propuestas:

- *Idealismo* kantiano, donde el *espacio* y el tiempo se definen como categorías “intuiciones sensibles” de la realidad.
- Planteamiento *realista-sustantivo*³, en el que lo espacial es una *mera extensión* (definición aristotélica del término) adscrita a un sistema de leyes unívocas representado por la ley de la gravitación universal de Newton.

La propuesta de Leibniz consiste en tratar el concepto *Espacio* como un compuesto de *extensión* y *sucesión*, en el que el *primero*, es orden de *coexistencia* y el *segundo*, es orden de *cambio*. Más concretamente, el *Espacio*, está en relación con sus propios procesos de formación, no siendo algo estático, sino una estructura dinámica en donde se producen cambios y transformaciones, que integra a lo *temporal*, como una medida del *cambio*.

³ En ARANA, 2000:23

El planteamiento de Leibniz, a diferencia de la argumentación cartesiana⁴, no se pudo visualizar hasta principios del siglo XX, mediante la perspectiva realista-relacional ejemplificada bajo el concepto del *Continuo espacio-tiempo*.

La representación del *Continuo espacio-tiempo* fue enunciada desde la matemática de Minkowski y empleada en la física de Einstein. Para ello, Minkowski tomó como punto de partida el contrasentido que suponía emplear el *tiempo* como un concepto netamente independiente del sistema de referencia empleado⁵. De tal manera que la tarea del matemático consistió en desarrollar un trabajo crítico acerca del concepto *Espacio*, de forma paralela a la que se estaba realizando en torno al concepto *Tiempo* desde la Física por parte de investigadores como Lorentz o Einstein.

La reflexión de Minkowski acerca de lo que debía ser el *continuo espacio-tiempo*, partió de los trabajos del matemático POINCARÉ (1905) quién a su vez trabajó con las transformaciones de LORENTZ (1904) las cuales reformulan el principio de GALILEO en torno al teorema de la adición de velocidades (⁶).

En 1907 Minkowski presentó dos trabajos acerca de sus ideas referentes al *continuo espacio-tiempo* en forma de sendas conferencias tituladas: “*Raum und Zeit*” (Espacio y Tiempo) y “*Das Relativitätsprinzip*” (El principio de Relatividad). En ellas, aparte de ser el adecuado vehículo de expresión de sus ideas⁷, también sirvieron como “herramienta conceptual” para la correcta *formulación einsteniana* de la Relatividad General

⁴ Modelo *realista-sustantivo* que se ejemplifica a través del modelo de la física newtoniana y la geometría euclídea.

⁵ Si el lector desea ampliar conocimiento sobre esta cuestión, se recomiendan revisar trabajos acerca de los sistemas de referencia inerciales y no inerciales, junto a bibliografía acerca de las Transformaciones de Lorentz

⁶ En 1638 publicó “Discursos y demostración matemática en torno a dos nuevas ciencias relacionadas con la mecánica”

⁷ Entiendase cómo el paso del espacio y el tiempo por separado, hacia el *Continuo espacio-tiempo*

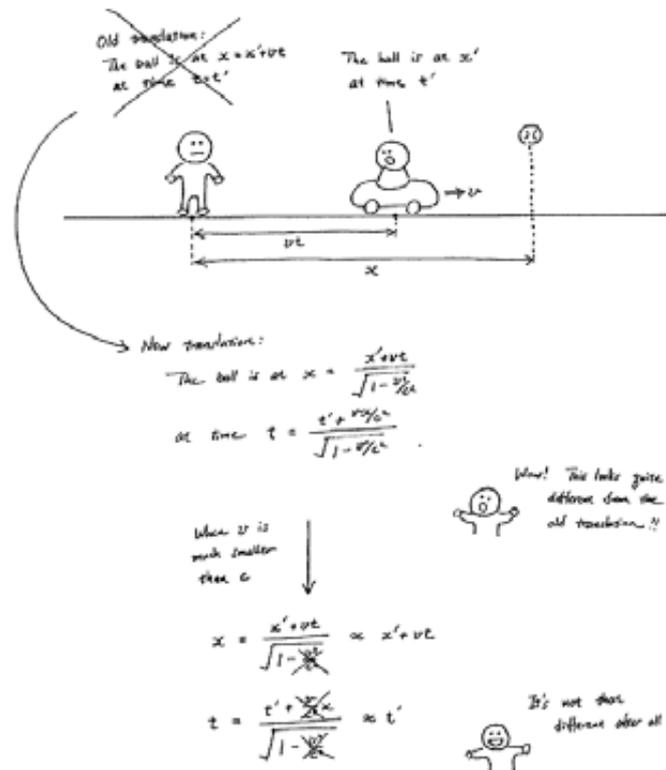


Figura 7: Según el esquema anterior, si un cuerpo se mueve a una velocidad determinada v con respecto a un observador en reposo y ese mismo hecho es visto por otro observador, que esté bajo un tipo de movimiento concreto (el caso de la figura es un rectilíneo uniforme hacia la pelota) la medida de los efectos producidos son diferentes desde cada observador.

La implicación directa de lo anterior es la condición de *relatividad* acerca de las localizaciones a tenor del sistema de referencia empleado, o lo que es lo mismo, el *espacio* y el *tiempo* son percibidos de manera diferente según el sistema referencial adoptado. Por tanto, la percepción de ciertos efectos espacio-temporales variará en función a los caracteres que definan ese *espacio-tiempo* en base al observador que percibe el fenómeno de cambio. Por ello, el *continuo espacio-tiempo* es un *modelo de campo*, en donde los diferentes componentes que lo integran son, básicamente, *funciones continuas* de, como mínimo, cuatro variables independientes (x, y, z, t) tres espaciales y una temporal. Las operaciones que se pueden realizar en base a esta perspectiva cobran sentido en el *espacio vectorial*.

1.1.3. Los espacios vectoriales

El *espacio-tiempo* adopta un tipo concreto de *estructura*: Espacios vectoriales expresado matemáticamente mediante *vectores*, que son segmentos orientados de una determinada sucesión.

Si un fenómeno se caracteriza a modo de un punto (o conjunto de puntos), tan sólo se podrá establecer una localización en términos de *extensión*, sin tener ninguna idea acerca de su dinámica. Frente a esto, mediante una notación vectorial, se puede establecer información sobre la *extensión* y la *sucesión* del fenómeno caracterizado vectorialmente (análisis dinámico del cambio).

El uso de la notación vectorial aporta otra mejora en la percepción de un suceso espacial (distribución de acciones y sus efectos en determinado espacio), lo que en palabras de R. Haining indicaría: “... *si contextualizamos un evento espacial determinado en los términos de espacio vectorial, entonces la representación de aquel, podría adoptar la forma de una superficie de densidad...*” (Haining, 2003:46) y el análisis de dicha superficie permitirá no sólo la mejora en la percepción del acontecimiento espacial, sino que determinará aspectos claves acerca de la/s causa/s de la distribución espacial observada.

Una implicación interesante de lo anterior es la posibilidad de establecer, en base a los conceptos de orientación y dirección vectorial, los criterios de *sucesión* (y *duración*) en las *extensiones* objeto de investigación, existiendo la posibilidad de visualizar un *espacio métrico n-dimensional* mediante un vector *n-dimensional* unido a cada punto o localización asignada en el área de estudio.

Esta operación de cómputo se define como *campo vectorial*, que es una construcción del cálculo vectorial que asocia un vector a cada punto en el espacio euclídeo. Los *campos vectoriales* se utilizan para la modelización de fenómenos que se encuentran caracterizados desde vectores, en los que cada componente del vector está asociado a una determinada magnitud del fenómeno, lo cual implica poder aproximarse a cuestiones referidas al *cambio* y a la posible *direccionalidad* de los mismos.

La definición formal dice que un *espacio vectorial* es una *estructura relacional* basada en la aplicación de dos operaciones:

i. *Suma vectorial*, definida mediante la expresión:

$$\mathbf{v} + \mathbf{w}, \text{ donde } \mathbf{v}, \mathbf{w} \in V$$

ii. *Producto por un escalar*, tal que:

$$a \mathbf{v}, \text{ donde } a \in \mathbb{R} \text{ y } \mathbf{v} \in V$$

Por tanto, se podrá establecer una caracterización más amplia acerca del problema de la variabilidad espacial si se emplea un planteamiento de *espacios vectoriales* en la fenomenología objeto de investigación, ya que existe la posibilidad de comparar *Campos vectoriales* ⁽⁸⁾ con *Campos escalares*, que asocian un número o escala a cada punto en el espacio o a cada punto de alguna variedad. Un *campo vectorial* se puede construir a partir de varios *campos escalares* usando el operador vectorial conocido como: *Gradiente*, que se define como:

Un *campo vectorial* \mathbf{C}^k F sobre X se llama un *Campo Gradiente* si existe una función \mathbf{C}^{k+1} a valores reales $f: X \rightarrow \mathbf{R}$ (un campo escalar) de modo que

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \nabla f(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in X)$$

La integral curvilínea sobre cualquier curva cerrada (e.g. $\gamma(a) = \gamma(b)$) en un *campo gradiente* es siempre cero:

$$\oint_{\gamma} \langle \mathbf{F}(\mathbf{x}), d\mathbf{x} \rangle = \int_a^b \langle \nabla f(\gamma(t)), \gamma'(t) \rangle dt = \int_a^b \frac{d}{dt} f \circ \gamma(t) dt = f(\gamma(b)) - f(\gamma(a)) = 0$$

En base a lo anterior, se puede llegar a la siguiente consideración: los *campos vectoriales* tienen una interpretación en términos de *ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden autónomas*, conocidas como *Curvas integrales*

⁸ Las derivadas de un *campo vectorial* dan por resultado un *campo escalar* u otro *campo vectorial*

Dado un C^0 campo vectorial F definido sobre X :

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}(\mathbf{x}) \quad (\mathbf{x} \in X)$$

Se puede intentar definir curvas $\gamma(t)$ sobre X de modo que para cada t en un intervalo I

$$\gamma(t) = \mathbf{x} \quad (t \in I)$$

y

$$\gamma'(t) = \mathbf{y} \quad (t \in I)$$

Puesto en la ecuación de *campo vectorial* se obtiene:

$$\gamma'(t) = \mathbf{F}(\gamma(t)) \quad (t \in I)$$

La expresión anterior es la definición de una *ecuación diferencial ordinaria de primer orden* explícita con las curvas $\gamma(t)$ como soluciones.

Si F es *Lipschitz*⁹ continua se puede encontrar una curva C^1 *única* γ_x para cada punto x en X de modo que:

$$\begin{aligned} \gamma_x(\mathbf{0}) &= (x) \\ \gamma'_x(t) &= \mathbf{F}(\gamma_x(t)) \quad (t \in (-\epsilon, +\epsilon) \subset \mathbb{R}) \end{aligned}$$

Las curvas γ_x se llaman **curvas integrales** del *campo vectorial* F y particionan X en clases de equivalencia.

No es siempre posible ampliar el intervalo $(-\mu, +\mu)$ a la recta real total. El flujo puede por ejemplo alcanzar el borde de X en un tiempo finito.

⁹ En matemática, una función $f: M \rightarrow N$ entre espacios métricos M y N es llamada Lipschitz continua (o se dice que satisface una condición de Lipschitz) si existe una constante $K > 0$ tal que $d(f(x), f(y)) \leq K d(x, y)$ para todo x y y en M . En tal caso, K es llamada la constante Lipschitz de la función. Toda función Lipschitz continua es uniformemente continua y por tanto continua.

Al integrar el *campo vectorial* a lo largo de cualquier curva integral γ , se obtiene el siguiente resultado:

$$\int_{\gamma} \langle \mathbf{F}(\mathbf{x}), d\mathbf{x} \rangle = \int_a^b \langle \mathbf{F}(\gamma(t)), \gamma'(t) \rangle dt = \int_a^b dt = \text{constante.}$$

A modo de corolario y en la *dimensión 2* o *3*, se puede visualizar el *campo vectorial* como algo que “*da lugar a...*” un flujo en X . Así que, si se particulariza un fenómeno de cambio en una trayectoria histórica en el punto x_i , se moverá a lo largo de una curva γ_x en la trayectoria dependiendo del punto inicial x_o . Entonces, si x_i es un punto estacionario en la trayectoria, el fenómeno seguirá estacionario, es decir, no se documentara cambio histórico alguno sobre la estructura investigada.

La conceptualización de determinadas operaciones *espacio-temporales* que pueden ser realizadas con vectores, permite alcanzar una serie de resultados de los que se han seleccionado tres:

- i. La noción de *Estacionariedad* en la función, lo que implica cuestiones relacionadas con la dinámica del cambio, que será desarrollada en partes sucesivas de esta tesis dentro del análisis estadístico de la variabilidad espacial de una determinada fenomenología espacial, el particularismo arque-lógico.
- ii. El *campo vectorial*, expresado a través de *Gradientes*, mostrando la *direccionabilidad* y la *discontinuidad* en/sobre la variación espacial.
- iii. La *curva integral*, de la que se puede obtener información acerca de los límites de la trayectoria histórica para cada uno de los fenómenos que hayan sido individualizados.

1. 2. EL ESPACIO FÍSICO

"... Al no poder ocupar el mismo lugar dos objetos,
existe una obligación de espaciamento"

H. Reymond, 1981.

La frase de Reymond se puede completar con: *...y al existir esa obligación de espaciamento, también tendrá que darse algún tipo de comportamiento, de norma espacial, que vincule a ambos objetos/entidades.*

El concepto *Espacio físico* se asocia a la idea de: “*el suelo que pisamos...*” Esa *estructura* es el producto de determinadas acciones naturales y antrópicas que la han generado. Siendo la dinámica de transformaciones (procesos erosivos, metamorfismo, acumulación sedimentaria, deformaciones estructurales,...), la principal causa en la formación/creación de nuevas regiones en el *espacio físico*.

El concepto *Espacio físico* suele particularizarse en la noción de *extensión*, siendo esto un error conceptual (y perceptivo), ya que la extensión es una componente más en el complejo estructural del *espacio físico*.

En el *Espacio físico*, las entidades objeto de estudio son efectos materiales, más concretamente, diferentes codificaciones de la materia (codificación corpórea o energética), integradas en una dinámica de causa-efecto, en ocasiones muy compleja, bajo las constricciones marcadas por masa, energía y entropía (grado de ordenamiento de la estructura).

El *Espacio físico* es “*un continuo de discontinuidades*”, que son el *límite* o la *interfase* que cierto proceso causal ha generado sobre una determinada materialidad, que es percibido a modo de variaciones *cualitativas* y *cuantitativas* en distintas regiones *del espacio físico*. De tal modo que un río, una montaña, una estructura de combustión, un basural, un muro,..., son regiones del *espacio físico* porque son diferenciables y delimitables. Esto es, existe un límite perceptible que genera una *discontinuidad* real, o

mejor dicho, la falta de semejanza entre las cualidades que componen a una determinada realidad frente a otra, ya que los valores de ciertas propiedades físicas relacionadas con las consecuencias materiales en determinados procesos causales, se encuentran generalizadas para un conjunto de localizaciones contiguas al *lugar* donde se produjo la acción. Un ejemplo típico es el proceso geomorfológico de sedimentación diferencial lacustre.

Por consiguiente, entre una localización espacio-temporal y la más próxima, los valores de la propiedad física que caracteriza las consecuencias materiales de la misma acción *tenderán a ser constantes*, es decir, son tendentes a la *estacionariedad* hasta cierto límite, que está determinado por la discontinuidad causada por otro tipo de acción, con otro tipo de efecto material y/o la finalización de la acción causal.

De este modo, en determinadas porciones de *espacio físico* (“*el suelo que pisamos...*”), se distinguen regiones diferentes, que pueden o no, ser adyacentes.

1.2.1. Discontinuidad en el *Espacio físico*

Entender el *espacio físico* como una *continuidad de discontinuidades* es una solución posible y extendida a la hora de visualizar este tipo de *espacio*. Una definición formal de *discontinuidad* (en base a la teoría de funciones) define a una función no continua en un punto, así que la función tiene una *discontinuidad* en ese punto y, por consiguiente, la función es *discontinua* en base a una serie de circunstancias que pueden o no superar dicha discontinuidad. Sea el ejemplo de la variabilidad unidimensional, donde la teoría de límites, considera a una función $f(x)$, de variable real x , definida para todo valor de x excepto, posiblemente para un cierto valor x_0 , es decir, $f(x)$ está definida para $x < x_0$, y para $x > x_0$, de tal modo que:

- El *límite por izquierda* en x_0 , es decir, el límite al aproximarse al valor $x = x_0$ mediante valores menores a x_0 , como:

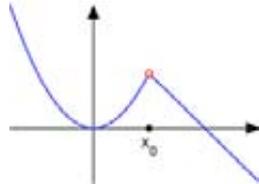
$$L^- = \lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x)$$

- El *límite por derecha* en x_0 , es decir, el límite al aproximarse al valor $x = x_0$ mediante valores mayores a x_0 , como:

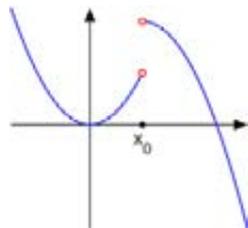
$$L^+ = \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$$

En estas condiciones, pueden darse tres posibilidades:

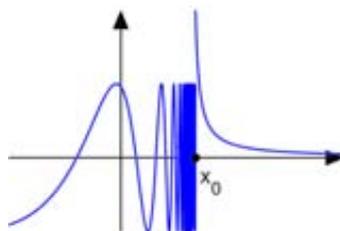
- i. Los límites L^- y L^+ existen en $x = x_0$, son finitos y son iguales. En este caso, se dice que x_0 es una discontinuidad que puede *salvarse*.



- ii. Los límites L^- y L^+ existen y son finitos, pero no son iguales. En este caso, se dice que x_0 es una *discontinuidad por salto*.



- iii. Al menos uno de los límites L^- y L^+ no existe o es infinito. En este caso, se dice que x_0 es una *discontinuidad esencial*.



En base al concepto de *discontinuidad* y en función de su propia contradicción, se define al *segmento homogéneo* como un *conjunto de localizaciones* unidimensionales que presenta mayor semejanza entre los valores que lo caracterizan, frente a otras localizaciones en donde los valores son disímiles, es decir, la noción de *homogeneidad* define la igualdad, mayor o menor, de los valores de una variable o de una combinación de cualidades en determinado segmento físico de la curva.

Una de las posibles medidas de la homogeneidad se realiza mediante el cálculo estadístico de la *Varianza*, que cuantifica el grado de dispersión (*heterogeneidad*) en una población. Con este cálculo, se puede efectuar una aproximación al límite de un *segmento homogéneo*, o lo que es lo mismo: percibir la *discontinuidad*. La existencia y percepción de la misma, los *límites*, e *interfases* (heterogeneidad en las acciones y en la materia) es lo que da sentido al concepto de *localizaciones* en el *espacio físico*.

Por tanto, las *localizaciones* en el *espacio físico* no sólo se definen en términos de sus propias características, sino en términos de sus diferencias con las entidades adyacentes, a lo que se denomina *interfase* que es, en definitiva, el límite de separación entre dos *fases*.

En el *espacio físico*, una *fase* es una región homogénea la cual se encuentra delimitada por una discontinuidad. Las *fases* son unidades espaciales y por lo tanto, tienen *tamaño* y *localización*. Al ser una masa homogénea de cierta *sustancia* en determinado estado (sólido, líquido o gaseoso), cuentan con un límite definido.

Cuando existen dos *fases* en contacto mutuo, se produce un límite diedro, es decir, un *interfaz*. Las *interfases* están construidas dinámicamente de manera tal que puedan ser consideradas como regiones deformables, es decir, obligadas *formas* en un determinado *espacio* y en un *devenir temporal*.

En base a lo dicho, se asume que dentro de dichas *interfaces*, debe haber una relación estadística lo suficientemente significativa entre la diferencia en el valor que tome la *variable regionalizada* (variable dependiente) en cualquier par de puntos y la *distancia* que exista entre los componentes de dicha dupla (Houlding 2000:5).

Una vez definido los límites, se realizará el análisis estructural de cada fracción establecida según los criterios empleados. Para ello, es fundamental descubrir *dónde* se encuentran los límites respectivos de cada fase, ya que esas *interfases* proporcionan la base para distinguir *discontinuidades*, que estén más allá de las que sean visualmente perceptibles. Siendo esta la razón por la que la significancia estadística de la *forma* sea tan importante para la exploración física, ya que se puede decir que la *forma* participa en la determinación de las condiciones espaciales en/sobre determinados acontecimientos formativos.

De este modo, se asume que las *formas* percibidas, son los resultados de los procesos naturales (y antrópicos) en la configuración de una determinada *fase*. Las *fases* tienen tres características principales:

Geometría, o interpretación en el *orden* y en la *distribución*.

Topología, o análisis de la *posición*.

Aspecto, o análisis de la *materialidad*.

Entonces: ¿Cuál puede ser la *geometría*, *topología* y *aspecto* de un patrón de discontinuidades entre los límites de diversas posiciones espaciales?

La respuesta reside en que cualquier par de localizaciones pueden mostrar variaciones en sus características locales, configurando una geometría, topología y aspecto característico al tipo de acciones/procesos que las originaron y tomaron lugar. Algunos ejemplos son las variaciones en la difusión del color, la uniformidad, densidad, tosquedad, aspereza, dureza, brillo,... (Tuceryan y Jain 1993). Estas variaciones son el resultado material de la acción o del proceso, que modificó una determinada porción del *espacio físico* al producirse en una serie de localizaciones (la manera en *cómo* se localiza en el espacio provocará un tipo u otro de efectos). La variabilidad de todas estas *calidades* y/o *cualidades* percibidas en distintas localizaciones espaciales permite determinar la dinámica del cambio.

Así que, la acción de percibir el *espacio físico* será una cuestión dirigida, principalmente, al reconocimiento de *bordes* y/o *gradientes* en las categorías que cualifican y cuantifican una determinada región del *espacio físico*. Por ejemplo, la composición química del soluto en un reactivo es un espacio físico de la reacción entre el soluto y el disolvente necesario para alcanzar un determinado precipitado. De manera más concreta, las disoluciones químicas y la topografía dentro de un sistema kárstico condicionaran la formación del paisaje de grutas, túneles,... dentro de una masa caliza.

A modo de síntesis:

- i. El reconocimiento de la *discontinuidad* es, esencialmente, la operación que permite detectar los cambios locales significativos entre valores espaciotemporales muestreados sobre algunas

características, es decir, se busca qué cambio cuantitativo de los puntos muestreados lleva hacia un cambio percibido en los valores locales de la *forma* y/o de la *frecuencia*.

- ii. La *unidad mínima* en el análisis estructural del *espacio físico*, se establece en función de criterios de continuidad/discontinuidad tanto en la *localización*, la *forma* y en la *composición*, es decir, la elección de una determinada región (χ) es el resultado de haber establecido los límites de la misma, atendiendo a cierto grado de homogeneidad sobre los elementos que la componen o la posibilidad de diferenciar una parte dentro de toda una variabilidad.

1.2.2. El gradiente como significado del Espacio físico

El *gradiente espacial* es la variación de intensidad de un fenómeno por unidad de distancia entre un determinado lugar y un centro (o un eje) dado. El gradiente describe la modificación de la *densidad* y del *tamaño* de valores medidos en diferentes localizaciones para una región concreta.

El *gradiente* muestra el papel que desempeña la *distancia* en el conjunto de las *interacciones espaciales* y de sus efectos sobre las características de los lugares que dependen de estas interacciones.

Todo esto permite establecer criterios suficientes para el reconocer y determinar el tipo de *patrón*, que mejor se ajuste a las condiciones de variación espacio-temporal de la variable regional. A través del cálculo del *gradiente* se puede establecer un significado acerca del análisis de variabilidad espacial en una determinada región espacial, ya que mide tasa y dirección del cambio que se produce en un *campo escalar*. De tal modo que se aplican operaciones de cálculo vectorial para el análisis de mismo. El resultado es un *vector* que, matemáticamente, se consigue mediante la operación de la derivada parcial del *vector* respecto a cada una de las coordenadas espaciales existentes en la caracterización del fenómeno.

De este modo, se puede conocer la *dirección* en el cambio máximo de atribución de los valores de la variable, atendiendo a las diferentes localizaciones analizadas. En función de los resultados de la aplicación del *gradiente* y a través del desarrollo de otros cálculos de contenido estrictamente geoestadístico, se puede conocer una medida escalar de la relación espacial para el conjunto de localizaciones analizadas: en primer término, para la variable consigo misma (medida de la autocorrelación) y en segundo término, entre varias variables (análisis multivariante, que reconoce el grado de relación espacial entre diferentes variables distribuidas en una región).

La fórmula del *gradiente* se encuentra enunciada en la *Teoría de detección de bordes* propuesta en 1979 por Marr y Hildreth. (Marr, D. & Hildreth, E. 1980: *Theory of edge detection*. London). El fundamento de todo cálculo de *gradiente* se basa en la *convolución*, que es un tipo de *promedio en movimiento*, cuyo uso es variado. En estadística, la distribución de probabilidad de la suma de dos variables aleatorias es la *convolución* de cada una de sus distribuciones de probabilidad. En base a esta operación (se transforman dos funciones: *f* y *g*, en una tercera función *h*, que en cierto sentido representa la magnitud en la que se superponen *f* y una versión trasladada e invertida de *g*.), se puede reconocer los límites atribuidos al cálculo del *gradiente espacial* de un conjunto de *localizaciones*, que comparten determinada cualidad o determinado intervalo de valor sobre una determinada propiedad (*región común*).

1.2.3. Dinámica del *Espacio físico*

“El orden no es sólo posible, es inevitable”

S. H. Strogatz, 1994.

El *espacio físico* es, en esencia, la realización de diferentes procesos geomorfológicos, pudiendo visualizarse a través de una secuencia temporalmente ordenada la trayectoria causal de las componentes de dicho espacio, estructurada en regiones homogéneas delimitadas por algún tipo de discontinuidad.

En cualquier caso, el *espacio físico* se observa no sólo por discontinuidades, sino que también, se percibe en términos de acontecimientos que tienen una naturaleza difusa. Por ejemplo, no se puede explicar la *historia del agua* en un lago, porque el agua espacialmente es indiferenciable. Sin embargo, sí se puede distinguir discontinuidades a lo largo del perímetro del lago, pudiendo, de ese modo, re-seguir la dinámica hidrológica del área mediante diferentes periodos de crecidas o carestías de agua.

Desde este principio, se puede definir el *espacio físico* solamente en términos de sus efectos observables, es decir, en términos de las modificaciones generadas por actividad geomorfológica, biológica o de carácter antrópico.

Así que, si la descripción del *espacio físico* se codifica simplemente en términos de las discontinuidades que se encuentran y se realiza un análisis de sus componentes en base a una colección características, se perderá la pista del *principio causal* de las mismas, pudiendo llegar a confundirse los acontecimientos que tienen las mismas causas pero están secuenciados en distintos momentos.

Para comprender la diversidad y la variabilidad en el *espacio físico*, se debe analizar cómo varía la *extensión* de cada continuidad y cómo es la *sucesión* de discontinuidades, así como las características que definen a cada uno de las continuidades y explicar la razón de las discontinuidades. Por ello, la *materialidad* es la determinación esencial de cualquier acción y por lo tanto, cada proceso natural se puede realizar en un *lugar* específico y en un *momento* concreto, constituyendo así su propia composición, definida desde una serie de particularidades.

Sólo a través de un análisis cuantitativo y/o cualitativo de la *extensión*, *sucesión* y *materialidad*, se podrán percibir *tendencias* (regularidad, irregularidad,...) en tanto a la *localización* de distintas áreas en las que una misma propiedad tienen el mismo valor, deduciendo así el *grado de dependencia* espacial que exista. En este marco cobran sentido dos elementos que miden la *relación espacial* entre localizaciones:

- i. La noción topológica de **Vecindad Espacial**, donde se considera que las cosas que tienden a cambiar de manera conjunta o solidariamente a través de la *extensión* y en la *duración*, en base a su *calidad*, suelen tener algún tipo de relación.

- ii. La noción métrica de **Distancia**, que es una medida de desvío entre objetos/entidades y que establece el *intervalo* a franquear para ir de un lugar a otro, confiriéndole un significado de separación, de segregación.

La tendencia normal es que la *materialidad* de un par de localizaciones próximas entre sí (vecinas) *probablemente* habrá sido causada por el mismo grupo de acciones, que tiende a decrecer a medida que el par de localizaciones se encuentren más alejadas entre sí (tomado de la Ley de Tobler; Tobler 1970).

Una de las condiciones más importantes que determinan la organización del *espacio-tiempo* es la *proximidad* que exista entre de las localizaciones tanto en el *espacio* como en el *tiempo*. Esto quiere decir que las características funcionales de cualquier localización en el *espacio físico* serán percibidas solamente en un marco de relaciones con otras localizaciones similares (en el espacio como en el tiempo) y desde una escala determinada. Según lo anterior, se deduce una consecuencia obvia: Un *lugar* solo/ aislado, no podrá ser relacionado con otros, y por tanto no se podrá determinar o apreciar sus particularidades funcionales.

Una consecuencia de lo anteriormente dicho es que en el *espacio físico*, el valor de la materialidad dictará a cada localización la necesidad causal por la que se relacionará de alguna manera con otras localizaciones que hayan sido causadas por el mismo o por otros procesos causales. Debido a este principio, el *cambio* en la *materialidad* exige una interacción obligatoria entre las *causas*, *lugares* y los *momentos*.

El cambio en las condiciones de la *materia* también se encuentra relacionado con el cambio en la *sucesión* y en la *extensión*, que implica lo siguiente: se produce una mera *extensión* sólo cuando el observador no considera la *sucesión*.

La *localización* espacio-temporal en su significado físico (y funcional) es una característica de un acontecimiento concreto, que define el modo por el cual la *materia* del acontecimiento ha cambiado del estado 01 al estado 02 en dos regiones diferentes del *espacio físico* (S₁- S₂) y en dos momentos temporales (T₁-T₂).

Por lo tanto, cuando exista cierta regularidad en las consecuencias físicas de procesos causales, en tanto a la *extensión* como en la *sucesión*, se puede afirmar que hay cierto **grado de dependencia** entre las localizaciones, imponiéndose determinados parámetros de similitud sobre una porción de *espacio físico* (aparece una *región común*). Al

desaparecer la esa similitud, se podrá definir los límites (graduales, bruscos,...) de la *región común*.

Así que, para poder entender cómo es una determinada región del *espacio físico*, se precisará de ciertos conocimientos acerca de los procesos causales acontecidos y además, será necesario conocer los cambios generados por los mismos.

El análisis de la *variación espacio-temporal* y de la *calidad* de los efectos materiales seguirá siendo incompleto si no se puede establecer una explicación basada en la misma naturaleza del cambio. Por ello, el *espacio físico* se debe explicar en términos de la influencia (*espacio-temporal-materialidad*) que una acción (*a*) realizada en una determinada localización (*l*) tiene sobre todas las localizaciones próximas.

Según lo dicho, el grado de influencia que pueda existir entre procesos causales que se encuentren espacio-temporalmente próximos podría estar en función de:

- i. *Distancia* que exista entre ellos,
- ii. *Temporalidad* entre acontecimientos, y
- iii. *Naturaleza* de las interacciones entre los *agentes causales* distribuidos en diversas localizaciones.

Si se establece una *relación* entre entidades y/o fenómenos en base al criterio de *distancia*, dicha relación se basará en el principio de *Vecindad espacial* (Boyce *et alli*. 1967, 1971, 1975) que establece la relación entre la intensidad de las influencias que convergen con una sola localización desde las localizaciones vecinas. En otras palabras: “...Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”¹⁰ (LEY DE TOBLER, W.R. Tobler, 1970:235)

Según la relación, se puede calcular el grado de *dependencia espacial*, que es una medida acerca de los valores que toma una (o más) variable(s) en un conjunto determinado de posiciones espaciales.

¹⁰ Todo puede estar relacionado con todo, pero las cosas que están más cerca estarán más relacionadas que las que están a mayor distancia

Una implicación clave acerca de la *dependencia espacial*, fue postulada por A. G. Journel¹¹ (1992), al afirmar que una distribución espacial de datos, a priori, debe considerarse como una variable dependiente de otras.

Existen dos formas para determinar la dependencia espacial:

- i. La **conectividad**, donde la *dependencia espacial* se percibe desde una óptica cualitativa. Ésta reconoce que los elementos que tienden a estar conectados por otros elementos, muestran una tendencia a estar agrupados/juntos entre sí¹².
- ii. El **análisis de la varianza**, donde la *dependencia espacial* es entendida desde una óptica cuantitativa, en la que se comparan los *f-valores* observados con los *f-valores* tabulados, bajo determinados supuestos de probabilidad.

El resultado de los procesos que suceden en el *espacio físico* son *conjuntos* y *subconjuntos* (¹³) de *consecuencias materiales*, que pueden ser descritas en base a una serie extensa de conceptos (enumerados anteriormente). Todo ello, permite expresar una serie de atributos que caracterizan y explican la porción de *espacio físico* objeto de estudio, a través de sus relaciones espaciales y en la dinámica temporal que le corresponda (descripción histórica de la variabilidad espacial).

La descripción e interpretación de tales *consecuencias* suele tener, por si misma, una relevancia netamente espacial, que se sintetiza en los principios de:

- i. *Autocorrelación*, es la correspondencia de una variable consigo misma. Si una determinada *cualidad* o *cantidad* en una localización se distribuye

¹¹ Retomando el trabajo de A G Journel & C.J. Huijbregts (1978) *Mining Geostatistics* Academic Press Inc, London

¹² Hay una distinción cualitativa importante entre la mera *proximidad* y la conectividad real. La *proximidad* se debe ver a modo de una derivada de la conectividad.

¹³ El término conjunto hace referencia a la existencia de relaciones, o no, entre los fenómenos resultantes de acciones físicas.

en las localizaciones vecinas siguiendo un determinado *orden*, la distribución de la variable estará *autocorrelacionada*.

Existen dos tipos de *autocorrelación*: Positiva, en la que las regiones vecinas tienden a tener propiedades idénticas o de valores semejantes (por ejemplo: regiones homogéneas, gradientes regulares) y la *autocorrelación* negativa, en la que las regiones vecinas tienen cualidades diferentes o bien alternan valores fuertes con los débiles.

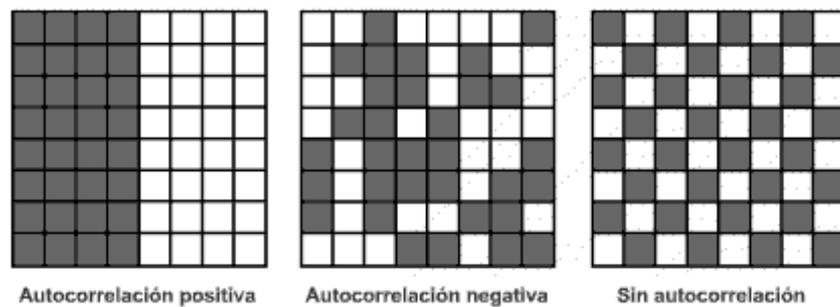


Figura 8: Esquema gráfico de la *autocorrelación*. En http://hypergeo.free.fr/IMG/gif/Fin_Autocorrelation.gif

- ii. *Homogeneidad*, es la tendencia a la semejanza entre los valores que toma una variable en una determinada región espacial. La *homogeneidad* en una región espacial tienen un doble significado: En la región espacialmente homogénea existen semejanzas entre las entidades que la componen y al mismo tiempo, se están definiendo diferencias con las entidades pertenecientes a otras regiones. La percepción de *homogeneidad* depende del nivel de resolución (escala) de la unidad espacial muestral. Así que, según sea la escala empleada, la homogeneidad será apreciable en unos niveles y no en otros.
- iii. *Heterogeneidad*, indica la presencia de diferencias sistemáticas en la ocurrencia de un determinado fenómeno en diferentes localizaciones espaciales. Según L. Anselin (2001b) es un tipo de *inestabilidad estructural* en forma de *varianza* no constante en los residuos de una regresión conocida como: *heteroscedasticidad*, que consiste en la ausencia de estabilidad en la dispersión de un determinado fenómeno en el espacio.

Se considera que la complejidad del *espacio físico* está más allá de la mera caracterización de una serie extensa de *lugares diferenciados*. Así que, para llegar a una definición completa se precisa de (Beguin & Thisse, 1979):

- Un *conjunto vectorial de atributos*¹⁴, y
- Una o varias *distancias* definidas en base a los lugares y sus atributos.

Los componentes estructurales del *espacio físico* se pueden sintetizar en:

- i. *Lugar (L)*: Es la unidad espacial elemental, en la cual no existe posibilidad de realizar distinciones (particiones). Por tanto, se asume que el *sustratum* material de los procesos físicos, biológicos y humanos se encuentra definido por una serie de *lugares*. Obviamente, el *lugar* (o también llamado *sitio*) debe contar como mínimo con dos *lugares*. Así que, la interpretación del conjunto de lugares en términos de *sustratum* material de los procesos físicos, biológicos y humanos, constituirá el primer y probablemente, la especificación geográfica más evidente del modelo de comportamiento espacial.
- ii. *Distancia (d_L)*: Es la separación que existe entre, como mínimo, dos *localizaciones*. Matemáticamente, existen varios conceptos, provenientes de la topología, que permiten expresar la posición relativa de cada lugar dentro de una estructura relacional. Un lugar determinado puede localizarse a través de:
 1. La medida de la *dimensión* de la *longitud* (vectores ortogonales), y
 2. La métrica de la *extensión* de las distintas *distancias*.
 3. La relación existente entre el número de lugares y el carácter limitado de la *serie de localizaciones (S)*,

¹⁴ El término *atributo* abarca dos posibilidades: *Atributo simple*, es aquel que puede ser expresado por una cantidad representativa de un conjunto del mismo atributo disponible en un lugar o en un subconjunto de lugares. En segundo término, está el *Atributo compuesto*, que es una función de atributos simples, y posiblemente, de componentes básicos. De hecho, tan solo los atributos simples serán necesarios para alcanzar una definición de *espacio geográfico*, sin la necesidad de incorporar a la definición de dicho espacio a los atributos compuestos.

puede ser formulado a través de la medida de las propiedades simples de los espacios métricos: (S, d_L) .

- iii. *Medida del área* (μ_A): Se trata de atribuir una extensión espacial (en tanto a la superficie) a un subconjunto de localizaciones relacionadas entre sí. La medida del área nunca será negativa (por ejemplo, no tienen sentido un área que mida $-3m^2$) y su valor será una referencia métrica del subconjunto.

En función de la descripción del *lugar*, la *distancia* y el *área*, se puede establecer cuál será la posición de determinados *sitios* pertenecientes a una *serie de localizaciones* en relación/función a otros *sitios*. El resultado es un *área* que representará a todo un subconjunto de emplazamientos.

Según lo anterior, el *espacio físico* se puede definir como (Beguin, H. & Thisse, J.-F. 1979:331-332) *un conjunto* (mínimo de dos *localizaciones*) *que tienen longitud métrica*, y una *medida del área*, es decir:

$$(S, d_L, \mu_A)$$

La descripción empírica del *espacio físico*, parte de una serie de propiedades matemáticas que permiten establecer un discurso explicativo acerca de la variabilidad observada en la región *espacial* investigada. Dichas propiedades, se sintetizan en los siguientes puntos:

- a. El *espacio físico* se considera *homogéneo*, si sólo si los valores de densidad entre los puntos que componen el área es similar en cada una de las localizaciones.
- b. Generalmente, un *límite* es un conjunto de lugares que están asociados a un *área* finita. Entonces, el *espacio físico* se llama *finito* si el área (S) es finita y el conjunto de localizaciones es limitada.
- c. Un *espacio físico* se dice *continuo* cuando el espacio métrico (S, d_L) está *conectado*, es decir, cuando (S) no puede ser particionado en dos

subconjuntos abiertos¹⁵. Si no se cumple esto, entonces el *espacio físico* se dice que es *no-continuo*.

Un *espacio físico* se dice que es *discontinuo* si los subconjuntos conectados son los lugares (*S*) y el conjunto sea vacío, existiendo de este modo dos implicaciones:

1. Si el *espacio físico* es *continuo*, entonces el conjunto de localizaciones es innumerable.
2. Si el conjunto de localizaciones es finito, entonces el *espacio físico* será *discontinuo*.

Aunque esta caracterización pueda ser útil para determinadas problemáticas, se antoja insuficiente a la hora de definir y analizar determinadas problemáticas de variación espacial. De tal modo que se hace necesario ampliar la caracterización espacial en tanto a una serie de *atributos*, que sirvan en la particularización de las distintas entidades situadas en un área determinada (*S, dL*).

Si se retoma el concepto *atributo* (nota la pie de página en la página anterior), se puede decir que:

1. *Atributo simple*, en base a dos supuestos:
 - a. Caracteriza a las entidades que respondan a la noción de disponibilidad espacial en un lugar fijo (*Beguín, H. & Thisse, J.-F. 1979:331* lo identifican como: *stock attribute*).
 - b. Caracteriza a las entidades que respondan a la noción de disponibilidad espacial en dos conjuntos de lugares: atributos de flujo (*Beguín, H. & Thisse, J.-F. 1979:331* lo identifican como: *flow attribute*)
2. *Atributo compuesto*, se define como el resultado de la combinación de *longitud* y *métrica de áreas* y/o la combinación de atributos simples.

La caracterización del *espacio físico* es completa en base a las componentes:

- Conjunto de lugares

¹⁵A menudo, es apropiado definir a un sub-espacio continuo bajo el término *región*.

- Extensión métrica
- Medida de área

Desde ese orden de componentes no arbitrario, se pueden establecer las especificaciones matemáticas para aplicar un *análisis espacial*, basado en el principio de *distancia*. Esto implica que sólo si se da una determinada combinación formal de las componentes del análisis, existirá la posibilidad de realizar el análisis espacial, de tal manera que se pueda mostrar ciertas propiedades matemáticas que expresarán conexiones certeras entre las componentes básicas.

1.3. LOS ESPACIOS SOCIALES

1.3.1. Nociones sobre el *Espacio social*

La palabra “social” remite a un conjunto de *entidades* sintetizadas en: *agentes sociales* (personas e instituciones), sus *acciones* y las *consecuencias* de dichas acciones. De tal modo que el *espacio social* es un complejo conjunto de relaciones, que emerge de la localización espacio-temporal de *entidades* sociales, que interactúan de un modo u otro (Barceló y Pallarés 1996), entendiendo por *entidades* sociales, tanto a los agentes como a las acciones realizadas por aquellos.

El fundamento de este tipo de *espacio* se encuentra en el término *actividad social*, que según A. Leont`ev (Leont`ev 1974) es el conjunto compuesto por sujetos, necesidades, motivaciones, objetivos, acciones y operaciones (o comportamientos) mediados por/desde artefactos (como puedan ser herramientas, normas, la división del trabajo,...). Las *acciones sociales*, integradas en la actividad social, constituyen una disposición ordenada en el *espacio social*, ya que la acción social suele ser consciente, premeditada y racional, ya que está orientada por objetivos (aunque no siempre el agente sea consciente de esa direccionalidad).

Esto implica cierto grado de complejidad por lo que algunas *acciones sociales* realizadas por determinados *agentes* son el resultado de acciones realizadas por otros *agentes*. En ocasiones, unos agentes imposibilitan a otros, o bien, ciertas acciones tienen

el mismo fin que otras, otras veces se producen en la misma localización del *espacio físico*, etc.... Por consiguiente, resultará imposible estudiar la *actividad social* de manera aislada (acción y/o efecto) ya que cada *acción* y por tanto, cada entidad (agente/s, productos, efectos de las acciones, instituciones,..) estará condicionado y/o determinado parcial o completamente por las acciones realizadas por otros agentes, así como por la *localización* de las mismas (próxima o alejadamente) en el *espacio físico* en el que se produjeron.

De este modo, parece que ciertas localizaciones del *espacio físico* “atraen” a unas actividades sociales y “repelen” a otras, es decir, las acciones sociales no se pueden entender sin un marco de referencia creado por la motivación o la intención social correspondiente a dicha acción, o en su defecto, es necesario conocer el conjunto de actividad en el que diferentes acciones se integran.

A. Leont'ev (Leont'ev 1979, 1981) argumenta que la motivación es llevada a cabo por parte del agente o el colectivo y explica la actividad social que se realiza, dándole una direccionalidad específica. Las actividades se observan como acciones individuales y cooperativas y las redes de tales acciones se encuentran relacionadas tanto por el mismo objeto como por la motivación total en su ejecución.

Siguiendo los argumentos de la teoría de la acción las acciones consisten en series extensas de operaciones, que son comportamientos bien definidos, usados como respuestas a las circunstancias existentes durante la realización de uno/varios procesos. Las actividades suelen estar, de este modo, dirigidas *hacia* sus motivaciones, siendo cada motivación un objeto material o un ideal, que cumple con la satisfacción de una necesidad determinada.

La necesidad o motivación social se puede observar usando diversas acciones, dependiendo de la situación en la que se encuentre. Por otra parte, la misma acción se puede asociar a diversas motivaciones, de tal modo que la acción tendrá un significado diverso en el contexto de cada motivación.

Por ejemplo, si la motivación (actividad) es: "construir una casa", una de las metas (acción) sería: "obtener el material para tapias y techos". En este contexto, se partirá necesariamente del conocimiento o la habilidad (operación) de hacer ladrillos, o cortar madera,...

La frontera existente entre la *actividad intencional* y el *comportamiento operacional* suele ser en múltiples ocasiones difusa, ya que las posibilidades de reconocimiento e interpretación son múltiples. Esto se debe a que las intenciones se pueden transformar

en el curso de una actividad, no siendo estructuras inmutables. Una actividad puede perder su motivación y convertirse en una acción y una acción puede convertirse en una operación cuando el objetivo cambia.

La motivación de una determinada actividad puede convertirse en la meta de otra actividad, como resultado de la cual, se transforma en una actividad integral. Así que, la *actividad social* no concierne exclusivamente a un agente o a un grupo, sino a una colección distribuida de agentes o grupos que obran recíprocamente y teniendo presente, sino todas, una parte de las consecuencias de sus acciones.

Según lo dicho acerca de la actividad y las acciones y siguiendo la idea de M. Santos (Santos 2000:35 y ss), el *espacio* está formado por un conjunto indisoluble, solidario y también, contradictorio de sistemas de *entidades* (objetos y personas) y de sistemas de *acciones* que no son considerados aisladamente.

La traducción de dicha idea, en términos de la *configuración de un espacio social*, equivaldría a la satisfacción de ciertas necesidades en base a la ejecución de acciones que se materializan en toda una serie de consecuencias espacialmente localizadas (en ocasiones materiales), las cuales se encuentran sistémicamente vinculadas, lo que producirá cierta variabilidad en determinadas propiedades físicas.

Las *actividades sociales* configuran el *espacio social*, ya que constituyen la manera fundamental en que *agentes sociales* se relacionan con las *consecuencias* de sus acciones. Entre otras, se distinguen:

- a. Diversos agentes realizan la misma *acción de trabajo*¹⁶, o bien, realizan conjuntamente una misma acción de trabajo colectiva.
- b. Diversos agentes realizan distintos *trabajos* con una misma finalidad colectiva.
- c. Diversos agentes realizan distintos *trabajos* en respuesta a una misma acción de otro agente y/o a una misma circunstancia o contexto.

¹⁶Donde *trabajo* significa: *Actividad humana, orientada a conseguir un fin: satisfacer una necesidad material con unos recursos limitados. Es el esfuerzo físico, o mental que se necesita para transformar una cosa en otra cosa*

En la literatura especializada, este tipo de relaciones que vinculan a los *agentes sociales* y los *productos* del trabajo que realizan se denominan *relaciones sociales de producción* (A. Sánchez Vázquez (1970); K. Marx (1987); M. Harnacker (1994); L. Althusser & E. Balibar (1998)).

Si en el *espacio físico*, las discontinuidades materiales definían las localizaciones físicas, “localizar” en el *espacio social* consiste en buscar el subconjunto o partición del conjunto de *entidades* (acciones, agentes y sus efectos materiales y no materiales) que participan en una determinada *actividad* o *actividades*. Esto permite formular una teoría del *espacio social*, que se sitúe dialécticamente dentro del contexto sistémico-estructural de los procesos históricos y en la que el significado de la *producción* del espacio implicaría, que:

- i. La producción social del espacio es resultado de unas condiciones de materialidad “traducida” a modo de un *soporte* (el espacio físico), unos *actores* (agentes sociales) y unos *productos*, configurando una estructura global y dinámica de acciones-sucesos-reacciones.
- ii. Una teoría de la información que *orienta* las interacciones posibles en ese *espacio social*, es decir, las implicaciones epistemológicas acerca de los posibles desplazamientos temporales y espaciales que posibilita el *espacio social* producido, con el fin de mantener o superar determinadas contradicciones (desde modalidades espaciales con tendencia a la homogeneidad hasta el caso opuesto, la heterogeneidad), contenidas en el seno del grupo social, o hacia otros grupos, es decir, las vías de gestión del *espacio* (y del *tiempo*) para con los procesos de organización material, implicados en las *relaciones sociales de producción*¹⁷.

Establecer una *localización* en el *espacio social* no es tanto atribuir un “lugar” (en el sentido físico que se le suele dar al término), sino delimitar un determinado *proceso de trabajo* (o conducta operativa en el sentido atribuido por la teoría de la actividad de Leontiev) y sus *componentes* (acciones, agentes y productos).

Por otro lado, el *espacio social* es un *producto*, es el resultado de un *conjunto de actividades sociales* (vinculadas a la actividad trabajo), contenidas dentro de la sociedad

¹⁷ D. Harvey (1985): “Cities, Surpluses and the Urban Origins of Capitalisms” The Urbanization of Capital. John Hopkins University Press. Baltimore.

y orientadas según la coyuntura histórica hacia una serie de prácticas en la producción y gestión de las entidades espaciales (relaciones y productos espaciales).

Cada agente, cada bien, cada circunstancia o coyuntura concreta en la que varios agentes entran en contacto por el tipo o *modalidad del trabajo* que realizan o por las consecuencias de dicho trabajo, serán considerados como *localizaciones* concretas en el *espacio social*.

En otros términos, la *localización* es una caracterización de toda una serie de *actividades* que particularizan a la estructura relacional *espacio social* en un conjunto de unidades discretas o posiciones sociales.

Dado que las distintas *localizaciones* en el *espacio social* están vinculadas por las relaciones sociales de producción, los conceptos de *distancia* y *dimensión social* se convierten en algo básico para definir el *espacio social* como estructura relacional, siendo definidos en términos de las *relaciones sociales de producción* que los caracterizan. En este sentido, se denomina *distancia social* a la medida de las diferencias entre distintas *localizaciones* o posiciones sociales concretas dentro de un *espacio social* dado (A.C. Gatrell, 1983:73 y ss).

La existencia de esas diferencias se debe a la propia variabilidad de las formas de trabajo o a las diversas consecuencias que dicho trabajo puede generar entre los agentes que participan en ese proceso o que resultan afectados de alguna manera (positiva o negativamente) por las consecuencias del mismo. Hay dos maneras de entender esas diferencias:

1. *Diferenciación propia* (comúnmente conocida como *técnica*) del trabajo, en donde se produce una sinergia entre el tipo de *actividad* a realizar, el *agente* que la realiza y probablemente, la *localización* en la que se realiza dicha acción por el agente/s. Este tipo de división muestra en el *espacio social* toda una serie de *distribuciones* y por ende, *relaciones* particulares, que en ocasiones se ajustan a principios de optimización entre *agente*, *localización* y *actividad* a realizar. Mientras que en otras ocasiones regirán otros tipos de principios ajenos a la optimización operativa.

2. *Diferenciación social del trabajo*, implica la aparición de especialización por parte de los agentes de trabajo dentro del marco de las actividades. El grado de desarrollo en la *división social del trabajo* caracteriza el nivel de desarrollo de las *fuerzas productivas* de la sociedad, que suele representar de manera análoga, el esquema de la *división* de la misma. La existencia de esta segregación ajena a un planteamiento natural se debe a la presencia en los procesos de trabajo de *excedentes* y a una serie de mecanismos empleados en la legitimación de su apropiación/gestión por parte de determinados segmentos sociales, es decir, la diferenciación social dependerá, entonces, del *modo de producción* principal existente, ya que se supone que la *división social del trabajo* es una imagen de la diferenciación social. Por tanto, las *relaciones sociales de producción* inciden sobre el tipo de *división social del trabajo*.

Al asumir que existen variaciones entre las entidades localizadas en el *espacio social* y que esas variaciones pueden expresarse en términos de *distancias*, se reconoce la presencia de particiones en dicho espacio. Se pueden citar muchos ejemplos de relaciones que configuran y/o dividen un *espacio social*: el igualitarismo, la marginalidad, la explotación, ... Cualquier forma de interacción social relaciona *agentes* sociales de manera tal que un *espacio social* concreto emergerá como consecuencia de las diferencias generadas por entre los agentes que se relacionan de ese modo.

Todas las particiones posibles en un *espacio social* pueden definirse topológica y/o métricamente. En el primer caso, se fija la *distancia* entre dos o más posiciones en un *espacio social* a través de una diferencia *cualitativa* (por ejemplo, en términos de la naturaleza o modalidad del trabajo). De este modo, se pueden establecer relaciones espaciales en tanto a la superposición, a la conectividad, a la integración o separabilidad de un proceso o varios en un *conjunto de actividades*.

Este tipo de percepción y análisis de la relación se aplica desde lo que se conoce como *red social*, siendo esta un *grafo* en el cual los *nodos* representan individuos (a veces denominados *actores*) y las *aristas* relaciones entre ellos.

El análisis de *redes sociales* es un planteamiento nuevo aplicado en diferentes ámbitos de las ciencias sociales en los últimos veinte años como una nueva herramienta de análisis acerca de *realidad social* (Alexander, M., & Danowski, J. (1990); Barabasi, A.L.

(2002); Emirbayer, M. & Goodwin, J. (1994); Sparrowe, R., Liden, R. (2001), Wasserman, S., & Faust, K. (1994),..., entre otros).

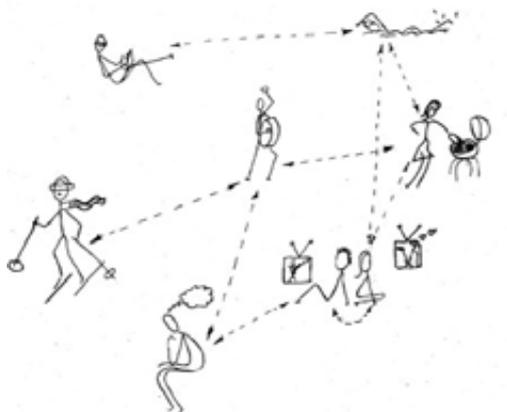


Figura 9: Aproximación al esquema de una red social, elaboración propia.

El análisis de *redes sociales* se centra en las múltiples correspondencias que operan entre *agentes* (o grupos) y no en las características de los mismos (raza, edad, ingresos, educación,...), siendo capaz de abordar diferentes problemáticas desde una nueva óptica. Algunos ejemplos que ilustran este planteamiento son: la difusión de información, el contagio de enfermedades,... De estos ejemplos, se deduce que la estructura de las relaciones puede llegar a ser más relevante que las características de los propios *agentes*, o al menos, aportar información clave para conocer los diferentes procesos. Todo ello cobra un sentido especial dentro en el análisis del *espacio social*.

En el caso de *distancias métricas*, será la medida de la intensidad de esas diferencias lo que permitirá definir la geometría de las particiones existentes en la región de *espacio social*, objeto de estudio,¹⁸ al igual que la magnitud escalar mide (cuantitativamente) la intensidad de la diferencia (distancia) entre dos o más *particiones* sociales o posiciones en el espacio social.

Por ejemplo, se puede medir la *distancia social* en términos de la relación (p.ej. inversamente proporcional) entre la *cantidad de trabajo* invertido en cierta actividad y la *cantidad de producto* realizado como resultado de esa actividad que sea accesible para el *agente* que ha realizado el trabajo.

¹⁸ En Gatrell, A.C. (1983) *Distance and space: A Geographical Perspective*. Larendon Press. Oxford (pp73-80). Buscar. McFarland, D.D., & D.J. Brown. (1973). *Social distance as metric: A systematic introduction to smallest space analysis*. In E.O. Laumann (Ed.), *Bonds of pluralism: The form and substance of urban social networks*. New York, Wiley, 213-253.

Mediante dicha relación se podrá establecer una *distancia métrica* en cierto espacio social, la cual configurará una partición con una geometría concreta, analizable y medible, que permitirá comprender *cómo* distintos agentes participan directa o indirectamente en una serie relacionada de procesos de producción y/o reproducción y/o distribución y/o consumo y cómo se alejan o aproximan entre sí según el grado de explotación del trabajo.

Estas medidas de la intensidad de las diferencias entre los elementos constitutivos del *espacio social* pueden representarse por medio de una *matriz de distancias*, donde se expresa la magnitud de las diferencias entre los agentes sociales.

De este modo, cuando el coeficiente valga 0 indicará que la relación se establece entre la entidad consigo misma (p. ej: a-a = 0, c-c = 0,..., f = 0). En la matriz existen unos coeficientes extremos de máximo y mínimo valor, aquellos indicarán el tipo de relación, en función a la distancia, que existirá entre los pares de entidades establecidos (p. ej: a-c= 222, e-d=46,...).

	a	b	c	d	e	f
a	0	184	222	177	216	231
b	184	0	45	123	128	200
c	222	45	0	129	121	203
d	177	123	129	0	46	83
e	216	128	121	46	0	83
f	231	200	203	83	83	0

Figura 10: Ejemplo de una matriz de distancias.

Por tanto, la cuestión principal en el *espacio social*, al igual que en cualquier otro tipo de espacio, será *el tipo de relación/es que exista entre las entidades*. Una vez establecidas las distintas localizaciones en el *espacio social* en términos de *vecindad* y *distancia social*, se debe establecer la *dimensionalidad* de la estructura relacional resultante.

La *dimensionalidad del espacio social* se define como el número mínimo de relaciones que una *entidad social* (un actor o agente, una actividad, un producto) debe mantener con otras para que se pueda determinar, de manera satisfactoria, su localización en un determinado *espacio social*. Por ello, la localización de una determinada entidad (agente o producto) en el *espacio social* se encuentra definido por sus acciones y sus relaciones

con otras entidades sociales, ya que depende de la manera concreta en la que se relaciona con éstos. La *dimensionalidad topológica* podrá definirse en términos del número y de la complejidad de las interconexiones que conectan los distintos nodos de una red social.

En el caso de una representación métrica del *espacio social*, el estudio de su dimensionalidad es algo más complejo. Se considera, por ejemplo, una matriz en la que todos los agentes sociales están relacionados en términos de la intensidad de las diferencias entre ellos. La dimensionalidad de la matriz (y por tanto, del espacio social que ella representa) vendrá dada por el número de agentes relacionados. La dimensionalidad máxima del *espacio social* está representado por esa matriz de distancias, ya que la localización en el *espacio social* de cada uno de los *agentes* sólo puede definirse en términos de las relaciones que cada uno de ellos mantiene con todos los demás (la ausencia de relación es también un tipo concreto de relación).

Dicha dimensionalidad es, sin embargo, demasiado grande como para poder ser operativa (p. ej. el *espacio social* que corresponde a un país como China, ¡la dimensionalidad de dicho espacio sería de un orden superior a los 1000 millones!). Obviamente, ese número es redundante por lo que nunca se podría trabajar con tantas dimensiones sociales. La dimensionalidad original de una matriz de distancias sociales puede reducirse factorizando la matriz de distancias, esto es, calculando sus componentes principales o factores (alguna bibliografía básica en español sobre esta temática: Aluja, T. & Morineau, A. (1999) Ferrando Piera, P. J. (1993);..., entre otros).

1.3.2. Consideraciones dialécticas¹⁹ del Espacio social

En el *espacio social* toda posición de *acciones*, *agentes* y *efectos* se puede localizar en función a un determinado sistema de coordenadas. Todas esas posiciones (agentes, acciones y efectos) determinan la distribución de las acciones de *trabajo* (P. Bourdieu,

¹⁹ Se entiende dialéctica según la propuesta de M. Bunge (1959), la cual ha sido reinterpretada por el mismo autor como Causalidad Sistémica M. Bunge (2006). En cualquier caso, la dialéctica es un mecanismo causal que producirá nuevos estados en la entidad o en un determinado sistema como resultado de conflictos, tensiones, desequilibrios,... existentes en el interior de la misma entidad o en el sistema. (Engels 1883, Kondrashin 1997).

1990) La distribución de las acciones se puede expresar en términos de *distancias*. Esta interacción determina las pautas del cambio que afecta a multitud de ámbitos pertenecientes a la estructuración del *espacio social*.

El *cambio* expresado tanto en la *cualidad* como en la *cantidad*, determina e informa sobre el propio *espacio social*, existiendo múltiples perspectivas gnoseológicas que tratan de explicar toda esa complejidad. Siendo esa *realidad pluridimensional de posiciones* entendida como algo *dinámico* y *cambiante*, no sólo en base a lo que se pueda percibir acerca de dicha *estructura*, sino en cómo se ordenan (localizan) sus *productos* y en el tipo de *relaciones* posibles que puedan operar según sean sus diferentes *agentes* y los posibles *modos de interacción*.

Toda acción humana se orienta hacia/para el cambio en la naturaleza de las cosas, siendo el *trabajo humano* lo que permite modificar las características de las cosas, ya sea cualitativa o cuantitativamente. Se llegan a producir modificaciones en tanto a la *forma*, el *tamaño*, la *textura*, la *composición* de los elementos existentes en la naturaleza, del mismo modo que se producen modificaciones en su *localización* tanto en el *espacio físico*, como en la *ubicación* en el *tiempo*.

Por lo tanto, entender qué es una *actividad social*, requerirá toda una serie de conocimientos sobre el *modo* en que dicha acción social ha modificado determinados aspectos del *espacio físico*, ya sean inanimados como los ríos o animados como los mamíferos, ya sean materiales como las personas o inmateriales como las ideas o la información/conocimiento.

Por otra parte, también se deberá conocer *cómo* y *porqué* dicho cambio se ha producido, es decir, establecer los elementos causales de la acción y no tan sólo sus efectos, en otras palabras, los cambios no son producto del devenir temporal en sí mismo, ya que el tiempo no causa nada, pero la acción sólo podrá entenderse en su dimensión temporal, ya que únicamente esa dimensión contiene los elementos fundamentales para poder llegar a conocer el proceso de formación de la acción.

La acción social no es única, ni tiene lugar de manera aislada de otras acciones sociales y/o procesos naturales. El trabajo humano no suele tender a producirse en lugares azarosos, de la misma manera que los agentes sociales no suelen relacionarse entre sí aleatoriamente.

La localización del trabajo humano en el *espacio social* es una consecuencia de otros actos sociales, que limitan, obligan, impiden, favorecen, posibilitan acciones futuras.

Por otro lado, es preciso tener presente que se actúa en/sobre un *espacio físico*, que condiciona, en parte, la acción social, sin llegar a determinarla completamente (según que casos), aunque es evidente que el trabajo humano modifica las características del *espacio físico* a la vez que tiene lugar *en* él.

Por consiguiente, se puede considerar que la acción social influye en el contexto espacial físico donde se lleve a cabo, lo que significa que el *espacio físico* se socializa, ya sea por la apropiación que se hace de él o por la mera existencia de la naturaleza como entorno en *donde* tiene lugar el trabajo humano.

Una aplicación de esta perspectiva, se desarrolla a mediados de los años 60, dentro de la Geografía con una *escuela* conocida como: *Radical Geography*, en la que autores como R. Peet (1977), D. Harvey (1971, 1976, 1982), D. Olsson (1974) y H. Lefevre (1969, 1971, 1991) entre otros, desarrollan sus investigaciones en el análisis de las acciones sociales (vinculadas a las esferas de la producción, distribución, consumo y reproducción) para poder comprender la repercusión y la estructuración del *espacio socialmente apropiado y producido*, atendiendo a las condiciones socio-históricas existentes y predominantes en el conglomerado social objeto de estudio. Desde esta perspectiva, se puede reconocer no sólo las diferentes acciones entre los distintos agentes sociales, sino que además permite aproximarnos a la distribución espacial de los efectos de dichas acciones, configurando una teoría de la localización en torno a las acciones sociales.

El *espacio social*, no es un contenedor, sino una estructura *métrica y relacional* de los cambios, modificaciones y transformaciones provocados por la acción social en/sobre la estructura espacial física. De este modo, se puede decir que:

- El *espacio social* no es un “*a priori*”, ya que no tiene una estructura anterior a las entidades sociales que se localizan en él.
- El *espacio social* se encuentra determinado por una serie de procesos causales que han generado la localización de las entidades sociales distribuidas en él.

En el *espacio social* se producen toda una serie de cambios y/o modificaciones que actúan sobre la secuencia de cambios anteriores. En esta tesis, la aproximación al *espacio social*, se realiza mediante el análisis de la *estructura dinámica* generada por la localización y la distribución de las acciones sociales que han causado cambios observables sobre una determinada porción de *espacio físico*, que no debería

considerarse como un conjunto de entidades individuales, sino como agregados estadísticos de elementos que interactúan entre sí, de manera dialéctica.

La investigación de este tipo de *espacios* se considera eminentemente dialéctica, ya que el análisis se centra en el estudio de *los procesos de contradicción* que causan el cambio en la configuración de las estructuras del *espacio social*, que implica:

- i. Cambios en las propiedades físicas que caracterizan las consecuencias materiales de la acción social.
- ii. Cambios en las localizaciones corológicas de esas consecuencias materiales en el *espacio físico*.
- iii. Modificación de posición dentro de la secuencia (ya sea relativa o absoluta) definida por la temporalidad de los cambios en las consecuencias materiales de la acción social.

Por tanto, una acción social aislada, no relacionada, será incomprendible analíticamente, aunque pudiera tener sentido para el agente que la realizó. El análisis de una *acción social* podrá realizarse en el marco de las relaciones que mantiene con otras acciones. En este sentido, la acción social puede entenderse únicamente de manera funcional, es decir, en términos de aquello que la causó y de aquello que la provoca.

Se pretende buscar tanto la *continuidad* como la *dependencia espacial y temporal* de las consecuencias (materiales) de las acciones sociales a través del análisis de la dependencia espacial que existe entre una acción y la temporalmente posterior (correlación espaciotemporal), siendo este el *encaje* desde el cual se podrá llegar a explicar la función de la localización espacial en el modelo causal que relaciona las acciones sociales con sus consecuencias materiales.

El *espacio social* es una geometría de las actividades sociales, entendido como un conjunto *estocástico* de cambios y modificaciones producidos por la actividad social y el trabajo humano. Cada *espacio social* es el resultado final de una serie de transformaciones estructurales, que han actuado (y siguen actuando) sobre un conjunto previamente estructurado.

Un sistema es *estocástico*, si el conocimiento de su estado en un momento dado implica sólo el conocimiento de la probabilidad de varios estados posibles en cualquier tiempo futuro. Sólo así, se puede entender *cómo* aparece un esquema de *regularidad* en la

estructuración de las relaciones sociales al constatarse que determinados cambios, en determinadas circunstancias y ante la realización de determinadas acciones, son más *probables* que otros.

Al calcular e interpretar tales probabilidades de causalidad, se deduce que:

- a) Los *efectos* o posibilidades de acción no son arbitrarios ni salen de la nada, sino que surgen de estados definidos bajo la acción de causas también definidas.
- b) Las *acciones sociales* no son necesarias en el sentido de que emergen de modo regular e inequívoco de otras acciones o sucesos; sólo hay una cierta probabilidad de que un suceso se produzca entre muchos otros acontecimientos posibles.

El *espacio social* puede tener ciertas regularidades interpretables, pero de ello no se deduce que la regularidad sea la característica fundamental de la acción social.

La “regularidad” del espacio social habrá que entenderla, por tanto, en términos de la frecuencia con la que una acción o agente social repite la misma localización como resultado de acciones sociales o procesos naturales que *atraen* a dicha acción o agente.

Desde esta perspectiva, la noción de “regularidad” significa, simplemente, que ciertas localizaciones son más probables que otras o lo que es lo mismo, una mayoría de las localizaciones son coincidentes, mientras que una minoría están alejadas entre sí.

Por lo tanto, el *espacio social* se explica en términos de la *influencia espacio-temporal*, que una acción realizada en una *localización* y en un *momento*, tiene sobre todas las acciones realizadas en localizaciones relativamente próximas o lejanas. Este planteamiento sugiere que una acción social puede generar la reproducción de acciones similares alrededor de ella o puede prevenir la emergencia de cualquier otra acción similar en la misma vecindad. (por ejemplo, las causas de la localización de un *asentamiento humano* no depende tanto de las condiciones naturales del *espacio físico*, sino del tipo, modalidad y frecuencia con que ciertas acciones sociales se realizaron en determinadas localizaciones, que favorecieron la localización de un nuevo tipo de actividad social: la residencia). No es el *paisaje* quien explica la realización de la acción social, sino otras acciones que tuvieron lugar antes y durante, las que incrementaron la probabilidad de construir un asentamiento. (Barceló, Piana & Martinioni 2002; Barceló, Pelfer & Mandolesi 2002).

El aspecto clave de los *espacios sociales* radica en su carácter *dinámico*, que es el modo en que la localización de los distintos elementos del *espacio social* ha cambiado desde un estado inicial (A) al estado posterior (A'). Si dicho cambio se ha producido con una cierta regularidad a través del *espacio* y del *tiempo*, se puede decir que existirá cierto grado de dependencia entre los componentes de dicho *espacio social*, que confiere el aspecto particular a la porción de *espacio social* objeto de estudio.

El propósito de la investigación debe ser, por tanto, un análisis de la variabilidad de los cambios generados por y entre las *acciones sociales*, sus *agentes*, los *resultados* materiales. El análisis podrá definirse, entonces, en términos de la búsqueda de las regularidades históricas en la reproducción de la acción y en sus localizaciones.

En definitiva, se busca la *continuidad* y la *dependencia espacio-temporal* de conjuntos específicos de acciones sociales, procesos naturales y los múltiples efectos materiales.

Así que, se podría averiguar si lo que sucede (o sucedió) en una localización es la causa de lo que sucede (o sucederá) en localizaciones vecinas, siendo las características del *espacio físico* modificado por agentes sociales, lo que puede aportar información acerca del cambio, más que las características de los fenómenos que están situados en una porción de la *estructura relacional* objeto de estudio.

1.3.3. *Espacio Geográfico*

“...La Géographie est la science des *endroits*, pas des *hommes*”⁽²⁰⁾

P. Vidal de la Blache (1922)

La realización del *espacio social* está sujeta a ciertas constricciones de la realidad. Es lo que M. Santos (Santos 2000:78) se refiere cuando habla del concepto *forma-contenido* y hace partícipe de ciertos aspectos inscritos en la Naturaleza modificada no

²⁰ En español: La Geografía es la ciencia de los lugares, no de los hombres

como elemento causal, pero sí como elemento referencial para la percepción de los cambios sociales acontecidos en determinada localización del *espacio físico*.

P. Bourdieu (Bourdieu 1993) considera que todo *espacio social* se encuentra vinculado necesariamente a un *espacio físico*, ya que es a través del *espacio físico* donde existe la condición necesaria y previa para los *agentes sociales*, concluyendo que el *espacio físico* es la base y el medio sobre los que proyectar la fuerza de trabajo.

Así que, los procesos que forman y/o modifican distintos *espacios sociales* deben estar relacionados, de alguna manera, con los cambios experimentados por el *espacio físico* en el que han tenido y tienen lugar. En este marco de referencia, las *relaciones sociales de producción* serán tan diversas como la escala del *espacio físico* que las albergue.

Por consiguiente, para entender el *espacio social* se deberá conocer la ubicación en el *espacio físico*, tanto del agente que realiza una determinada acción de *trabajo*, como de los efectos del mismo y también, la de otros agentes sociales que hayan podido verse afectados por dicha acción. En este sentido, la distancia entre las localizaciones físicas del *espacio social* actúa como modificador de las distancias sociales entre los elementos constitutivos del *espacio social* (agentes, acciones y efectos), del mismo modo que esas distancias sociales explican los valores de las distancias físicas.

El resultado es un conjunto estructurado de la apropiación social de un *espacio físico* (pre-existente a la acción social) en primer término y de la modificación de este último mediante ciertas acciones (sociales) que establecen una atribución de valores diferenciales en función de determinadas *localizaciones* de vecindad o lejanía. Esto establece unas pautas de atracción y/o de repulsión en/sobre diferentes acciones de trabajo (según los intereses del grupo y el contexto histórico en el que se integre), constituyendo una *geometría* del *espacio social* concreto.

Por tanto, el *espacio físico* se “socializa” como consecuencia de las *actividades sociales* que se materializan en él y de las *relaciones sociales de producción* que vinculan a los distintos *agentes*, las múltiples *acciones* y al conjunto extenso de *efectos*, en el sentido que otorgan R. Abler, J. S. Adams y P. Gould (1977) al afirmar que: “... en parte, los agentes sociales actúan en/con el espacio físico para satisfacer sus necesidades y deseos, y estas acciones dan lugar a **regularidades características del espacio físico**, que a su vez influyen y modifican los procesos que tienen lugar en el *espacio social*”.

Según lo dicho, se puede definir el *Espacio geográfico*, como (Sánchez 1991:62):

- En cuanto a *factor* que interviene en el proceso sociohistórico, y
- En cuanto a *soporte y medio* a utilizar y/o transformar a lo largo de dicho proceso sociohistórico.

El *espacio geográfico* no sólo debe entenderse como la apropiación y/o la gestión de un determinado *espacio físico* por parte de uno o varios grupos sociales, sino que además, es una *estructura relacional* desde la cual se pueden vincular los *agentes sociales* y el *espacio físico*, que condiciona a la acción social y es modificado por la misma.

El *espacio geográfico* se caracteriza por su compleja dimensionalidad, ya que integra las dimensiones del *espacio social* y las del *espacio físico*, representando una realidad multidimensional, que se manifiesta claramente en el caso de la *relación de distancia* entre dos localizaciones, que no dependerá únicamente del tiempo que se tarde en ir de una a otra (lo que equivaldría a un mera *distancia física*), sino que influirán una serie de factores sociales (permeabilidad social, tendencias socio-políticas,...), lo que conduce a la ponderación sobre la distancia física de una serie de valores aportados por la *distancia social*.

Todo esto deriva en que las *distancias* en el *espacio geográfico* se encuentran “*determinadas*”, de algún modo, por algunos parámetros estrictamente sociales que condicionan la relación entre un par de localizaciones. Así que, el análisis de la distancia entre diferentes *entidades geográficas* llevará asociado una ponderación atribuida a cada una de las entidades, pertenecientes a la estructura espacial objeto de estudio

El análisis del *espacio geográfico* parte del conocimiento de las *relaciones sociales de producción* en/sobre determinado *espacio físico* y desde una determinada coyuntura histórica (Sánchez 1981), estudiándose la regularidad o la falta de aquella, en todas las acciones sociales que tengan (o hayan tenido) lugar en una porción concreta del *espacio físico*.

La implementación de esta consecuencia a algunas de las entidades geográficas más usuales, como pueden ser: *Territorio, paisaje, espacio construido, espacio doméstico,...*, se realiza mediante la integración de sus componentes *físicos* y *sociales*.

Desde una perspectiva social, todas estas entidades geográficas son conjuntos de agentes, acciones y productos vinculados a través del nexo relaciones sociales de producción. Mientras que desde una perspectiva física, todas esas entidades geográficas son localizaciones materiales concretas en una determinada porción de *espacio físico*, percibidas a través de frecuencias o distancias.

El **Paisaje** se puede definir como cualquier *área* del *espacio físico*, producto de la interacción de los diferentes factores naturales y/o antrópicos presentes en él. El *paisaje* se define por su “apariencia visual”, que es el resultado de procesos causales de diverso orden. Todo *paisaje* está compuesto por entidades que se articulan entre sí (abióticos, bióticos y antrópicos) y se encuentra definido como un *espacio geográfico* que presenta una determinada congruencia. Esto permite establecer tantas variantes paisajísticas como distintos procesos de formación se visualicen. Así que, se puede hablar de *paisajes urbanos* (mientras se mantengan las características que definan de visualmente lo *urbano*), paisajes energéticos (mientras se mantengan las características que definan visualmente determinadas condiciones de *energía*), paisajes agrícolas,...

El **Territorio** es la zona o *área* de actuación *colectiva* de un determinado grupo humano o animal. La noción de *territorio* implica necesariamente la noción de una colectividad de agentes. El *territorio* no tiene por qué contar con unos límites físicos concretos. Pero por definición un *territorio* será mayor que un *sitio*, porque es mayor el grupo de individuos que actúan e interactúan sobre dicha *área*. Mientras que un *paisaje* debe ser internamente homogéneo, ya que es su apariencia visual la que contribuye a diferenciar un paisaje de otro. Un *territorio* no tiene necesariamente esa homogeneidad, ya que es la naturaleza del grupo que lo ocupa la que permite distinguirlo de otros territorios. Por ejemplo, se supone que un grupo social realiza un conjunto posiblemente diverso de acciones sociales inscritas en un *área* determinada. La *relación geográfica* (física + social) de todas esas acciones ejecutadas por el mismo grupo definirán el límite del *territorio*, que se diferenciará de otro, no tanto por las acciones que tienen lugar en él, sino por la naturaleza del grupo de agentes que las realiza.

El **Espacio construido** es la modificación intencional de un *espacio físico* como resultado de una o varias acciones sociales. Esta modificación altera la forma y el contenido previo, pudiendo introducir nuevos elementos físicos o eliminando (destruyendo) elementos anteriores. Los agentes sociales, excavan el suelo, levantan

muros, deforestan bosques, represan ríos,... todas esas modificaciones son ejemplos de espacios construidos, que pueden ser resultado tanto de la acción individual como colectiva. En cualquier caso, son siempre una consecuencia de la acción intencional humana. La variabilidad de espacios construidos es una consecuencia de la variabilidad de acciones sociales que pueden llegar a modificar el *espacio físico*. Por ejemplo, el **Espacio doméstico** puede definirse a modo de una estructura relacional compleja, en donde se localizan en múltiples *enclaves* a todo un conjunto de acciones sociales (generalmente vinculadas a tareas de subsistencia, mantenimiento y reproducción) y procesos materiales (formación y deformación del *espacio físico*), que se caracteriza por una dinámica de cambios inducida por *acciones sociales*, que se encuentran distribuidas según determinados patrones espaciales (Barceló & Maximiano 2007).

Por consiguiente, si el *espacio geográfico* es una materialización de los efectos de una serie de acciones sociales en el *espacio físico*, la producción social de *espacio geográfico* obedece básicamente a:

- i. El tipo de *relaciones de poder* existentes en cada modo de producción.
- ii. Condiciones geofísicas del *territorio* abarcado, y
- iii. Las particularidades del *espacio social* previo a la implantación de las relaciones de poder vigentes en ese momento. (Inercia histórica).

Así que, se asume que será el *grupo social* el factor explicativo esencial, entendido a modo de variable independiente, mientras que el *espacio socialmente producido* (espacio físico modificado = espacio geográfico), es una variable dependiente más dentro del conglomerado social o como lo expresa E. Sánchez (Sánchez; 1991:69): “...la teoría del espacio podría asentarse sobre la preeminencia funcional de las relaciones de poder estructuradas en los modos de producción y en la síntesis de los mismos en cada formación social, con lo que pasaría a proponerse como modelo explicativo de una parcela de la realidad”.

A continuación, se realiza una aproximación a un caso geográfico concreto: la estructura espacial *Centro-Periferia*, desde el particularismo de la distribución desigual

(de bienes y servicios) como principio que mantiene la contradicción entre el *Centro* y sus *Periferias*.

La contradicción *Centro-Periferia* es un caso de estudio cuya formalización se remonta a los trabajos de W. Sombart (*Der moderne Kapitalismus*, 1902), y han sido los economistas que investigan las causas de las desigualdades del desarrollo, los que le dieron su *forma* contemporánea.²¹ Según estas propuestas, los *centros* de poder (generalmente asociados a una alta sofisticación en los medios de producción y a una mano de obra especializada) imponen una subordinación a las *periferias*, que están dedicadas a un conjunto de actividades/tareas de tipo rutinarias, alcanzando una diferencia significativa entre las *formas de producción* (técnicas y organizativas) y los *modos sociales de vida* (pautas de consumo y costes de reproducción de la fuerza de trabajo) de unas zonas preferenciales, frente a otras, netamente marginales. Según la generación y mantenimiento de la contradicción enunciada anteriormente, el *centro* representa a las *formas de producción* y los *modos* sociales de vida dominantes, mientras que las *periferias* vienen determinadas por los emplazamientos de las antiguas *formas de producción y modos de vida*, que el *centro* utiliza en provecho propio, como elemento que alimentará a la contradicción principal entre espacios sustentado en una desigualdad beneficiosa para el *centro*.

Ahora bien, esta dinámica de *centro-periferia* presenta, en ocasiones, otros posibles efectos, ya que se puede producir, de un lado (i) unas *semi-periferias* emergentes que mejoran su posición gracias a los efectos de difusión de los *centros* próximos y/o por un mejor aprovechamiento de sus propios recursos. Mientras que por otro lado, (ii) surgen unas *semi-periferias* en declive, que aparecen como consecuencia del agotamiento e incapacidad de sustitución de las antiguas formas de producción por otras nuevas, lo que puede derivar en la constitución de un nuevo *centro*, desde el cual irradiar prácticas sociales que sirvan en la articulación de un nuevo *espacio geográfico*. Desde el ejemplo centro-periferia se pueden apuntar algunos procesos que se pueden percibir en el *espacio social* y que se encuentran regidos por:

1. La dinámica acerca de las localizaciones del *capital*, entendido aquel a modo de *excedente* que puede ser o no

²¹Algunos trabajos significativos en esta línea son las propuestas de: S. Amin (1973, 1974, 1976, 1990), G. Frank (1967, 1978, 1981), P. Aydalot (1980, 1985), D. Massey (1977) A. Reynaud (1981) I. Wallerstein, (1984, 1988),..., entre otros.

transferido y convertible o no en *fuera de trabajo*, que se encontrará distribuida y localizada según una determinada geometría.

2. El modo en el que las *relaciones de poder* intervienen sobre el *espacio geográfico*, en tanto a cuestiones de apropiación y de gestión, que define el *espacio social* como un elemento manipulable por/desde las *relaciones de poder*, ya que con ello se consigue tanto el mantenimiento, como la reproducción, en base a los caracteres geofísicos y la dinámica del *espacio geográfico* desde una geometría espacial concreta.

Todo ello, permite establecer una vía analítica y una teoría interpretativa del *espacio social*, siguiendo las palabras de E. Sánchez (Sánchez: 1991:69): “...*La articulación del espacio es función básica del modelo de producción-gestión-apropiación del valor excedentario propio de la formación social vigente en cada momento, a partir del espacio social previo –que a su vez comporta un espacio físico- genealógicamente considerado*”.

Corolario: Lo que se visualiza en el *espacio geográfico* es una determinada “socialización” del *espacio físico* en términos de una serie de consecuencias de *actividades sociales* que se materializan en él y de las *relaciones sociales de producción* que vinculan a distintos *agentes*, múltiples *acciones* y al conjunto extenso de *efectos*, en el sentido que otorgan R. Abler, J. S. Adams y P. Gould (1977) al afirmar que en parte, los *agentes sociales* actúan en/con el *espacio físico* para satisfacer sus necesidades y deseos, y estas acciones dan lugar a **regularidades características** del *espacio físico*, que a su vez influyen y modifican los procesos que tienen lugar en el *espacio social*.

1. 4. ESPACIO ARQUEOLÓGICO

En las siguientes páginas se desarrolla la noción de *espacio arqueológico*, que se define (básicamente) como una serie de localizaciones en el *espacio físico* donde se llevaron a cabo varias acciones sociales (producción, reproducción, distribución y consumo).

Dado que el *espacio físico* y el *espacio social* son los referentes fundamentales del *espacio arqueológico*, este último estará conformado tanto por la *dialéctica* como por la *sinergia* de los procesos sociales y naturales que convergen en un conjunto de localizaciones, que temporalmente se encuentran bastante alejadas a la observación científica de los procesos acontecidos, al análisis y a la interpretación propia de la investigación arqueológica.

De manera sintética, se abordan las tendencias epistemológicas acerca de lo que es el *espacio arqueológico*, el cual oscila entre dos propuestas:

- i. *Conceptualización Absoluta*, donde el *espacio* es un contenedor de objetos materiales. De este modo, el *espacio arqueológico* es interpretado a modo de un mero continente (cuya existencia es independiente) de los restos materiales de acciones pasadas.
- ii. *Perspectiva Relacional*, donde lo *espacial* es un atributo de las localizaciones de los restos materiales de acciones pasadas, ordenadas estructuralmente.

Sin duda, ambas perspectivas son claramente divergentes entre sí, no sólo en el modo de entender lo que es el *espacio*, sino que además, el desarrollo de la problemática espacial y los medios analíticos en la resolución de tales problemas suele ser diametralmente diferente.

La propuesta de esta tesis se encuadra claramente en la *perspectiva relacional*. Sin embargo, si se realiza una revisión del estado de la cuestión para el caso de la disciplina arqueológica, se contrasta el dominio de la *conceptualización absoluta*.

La concepción usual del *espacio arqueológico* parte de la noción “espacio contenedor de cosas” en donde la atribución a una determinada partición espacial que los contenga

se convierte no sólo en la máxima preocupación de todo el proceso de investigación, sino que además, se constituye en el fin mismo de la investigación.

Esta línea entronca con la tradición científica positivista, en la que la investigación se centra en la fragmentación de los sistemas complejos en sus partes aparentemente constitutivas para poder realizar el estudio de las diferentes fracciones por sí mismas y al margen de las otras componentes, lo que lleva a un conocimiento sesgado, discreto y que en la mayoría de las ocasiones, concluye en una trivialización analítica acerca de la complejidad que alberga la fenomenología estudiada.

Las aplicaciones de la *conceptualización absoluta* en casos de estudio de variabilidad espacial arqueológica han sido y siguen siendo realizados²².

Bajo esa conceptualización, se establece todo un discurso *analítico-cuantitativo*²³ por el cual el análisis de la localización de los objetos se convirtió en el fin mismo del proceso de investigación. Esto condujo a una visión eminentemente *estática y pasiva* de los diferentes procesos espaciales. Desde estas “prácticas” de descomposición, medida y recomposición pseudo-interpretativa de la *variabilidad espacial* percibida, se establecen un conjunto de soluciones cuantitativas, que probablemente, eran ajenas a la *realidad* de la que procedían.

En oposición al *modelo contenedor*, la *perspectiva relacional* establece un enfoque de análisis e interpretación en el que se reconocen, describen y explican los diferentes niveles organizativos acerca de la materialidad espacialmente percibida, que trata de comprender cómo es la conexión que pueda existir a un mismo nivel y entre niveles disímiles. En otros términos, en vez de plantear una descomposición de los efectos percibidos, se establece una exploración de la totalidad a través de las relaciones internas que la componen (Harvey 2007:102).

Para alcanzar lo anterior, se plantea la vía crítica-analítica-interpretativa del método dialéctico. En el caso arqueo-lógico de la *variabilidad espacial*, se parte de una serie de consideraciones concretas, en las que lo espacial se materializa y relaciona a través de

²² Como ejemplo se toma el *Funcionalismo*, el cual se preocupa en encontrar “*Pautas Operativas*” en los objetos a través de sus localizaciones espacio-temporales (Algunos autores que siguen esta corriente son los Binford y Renfrew)

²³ La línea de trabajo de la New Archaeology, que a su vez se inspira de los planteamientos de la nueva geografía cuantitativa, pero sin ser capaz de percibir la diferencia en el tipo de problemática tratada desde la geografía y la necesaria reinterpretación teórico-metodológica que precisa para ser aplicada en los casos de variabilidad espacial arqueológica

diferentes niveles de contradicción social, constituyendo así la distribución de los efectos materiales de las acciones sociales en un *sistema complejo* desde el cual se muestran las diferentes expresiones materiales de un conjunto determinado de acciones (producir, consumir, reproducirse, distribuir), que se encuentran estrechamente relacionadas con toda una serie de coyunturas históricas. Así que, lo que se pretende es descubrir el significado del *cambio*, tanto en lo que se refiere a las evidencias materiales, como en lo que viene a representar en el contexto de la dinámica social.

R.E. Mortimer, a principios de la década de los cincuenta, dejó clara esta noción de relación, al decir: "...*If there be a connecting theme in the following pages, it is this: an insistence that the archaeologist is digging up, not things, but people.*" (Mortimer Wheeler 1954: *Archaeology from the Earth*. Oxford. University Press, Oxford.). En la misma línea C.L. Woolley, en 1961, reflexiona más allá de un planteamiento arqueográfico de la disciplina al decir: "...*Field Archaeology is the application of scientific method to the excavation of ancient objects, and it is based on the theory that the historical value of an object depends not so much on the nature of the object itself as on its associations, which only scientific excavation can detect... digging consists very largely in observation, recording and interpretation.*" (Woolley 1961: *Digging up the Past*. Harmondsworth.).

1.4.1. Naturaleza y descripción del *Espacio arqueológico*

El *espacio arqueológico* es un conjunto de localizaciones en el *espacio físico* en las que tuvieron lugar determinadas acciones sociales (producción, reproducción, distribución y consumo) y procesos naturales, conservándose una fracción material de efectos causados por tales acciones. El *espacio arqueológico* se configura como la temporalidad (pretérita) de la acción social en el *espacio físico*, condicionada, determinada y/o alterada por procesos antrópicos y por procesos naturales que se llevaron a cabo en el mismo lugar, tanto simultáneamente como anterior y posteriormente, a la acción(es) social(es) que definen ese *espacio*. Con ello, se pone de manifiesto que toda localización en el *espacio arqueológico* será el resultado de la

dinámica propia de la acción social, la cual a su vez, se encuentra determinada por otras acciones, por consecuencias materiales de acciones y por las condiciones históricas del medio y de los agentes. Todo ello, interacciona de manera dinámica y determina los cambios *en* ese espacio y en momentos temporales ordenados en una secuencia dada.

De manera más particular, el *espacio arqueológico* se materializa en lo que se conoce como *yacimiento*, Barcelo et al. (2005): “...*Más que un lugar, el yacimiento arqueológico se configura como la intersección de agentes sociales, acciones sociales y procesos naturales en el espacio y a través del tiempo. Por consiguiente, el propósito de una investigación arqueológica nunca será la mera enumeración de unos contenidos y sus continentes, sino el estudio de la estructura dinámica generada por la localización de las acciones sociales que, a lo largo del tiempo, han causado cambios observables en el espacio físico*”. (Barceló, Maximiano & Vicente, 2005).

Ahora bien, tanto las acciones sociales como los procesos naturales que tuvieron lugar en esa porción del *espacio físico* son perceptibles *aquí* pero no *ahora*, ya que el *espacio arqueológico* se caracteriza por una temporalidad pretérita. De tal modo que sólo existe la posibilidad de documentar un determinado subconjunto de entidades observables, las cuales representan a toda una serie extensa de efectos materiales que fueron (y son) consecuencias ya directas o indirectas de acciones pasadas.

El *espacio arqueológico* no está constituido por personas, ni acciones sociales, sino por la presencia/ausencia de determinados elementos materiales (físicos). La *forma*, el *límite*, el *tamaño*, la *textura*, la *composición*... de esas entidades son parte de las consecuencias materiales de lo que hizo determinada persona o personas y por consiguiente de algún tipo de acción social ejecutada en ese *lugar*.

Como resultado, la superficie del suelo sobre la que interactúan los agentes sociales experimenta modificaciones, cambiando las propiedades que la definen: se excava el suelo, se acumulan materiales sobre determinadas superficies, se limpian, son cerradas con estructuras construidas o sin ellas,... en otras palabras, el *espacio arqueológico* está conformado por los *efectos* que agentes y acciones causales han producido en esa localización concreta del tejido espacio-tiempo.

El *espacio arqueológico* es geográfico, ya que tanto las acciones como sus efectos pertenecen al ámbito de lo social, aunque a diferencia de la investigación geográfica, la

incertidumbre en la relación: *Agente – Acción – Producto*, es notablemente mayor en el *espacio arqueológico* que en ningún caso de estudio del espacio geográfico. Es la temporalidad de la acción y su consiguiente no-observabilidad en el presente, lo que permite diferenciar el *espacio arqueológico* del *espacio geográfico*.

Mientras que en el geográfico, la *acción* social y el *agente* son perceptibles y por tanto, *acciones*, *agentes* y *productos* junto a sus semejanzas y diferencias, constituyen el elemento básico de su estructura relacional, en el *espacio arqueológico* sólo se pueden relacionar determinados elementos materiales, siendo inobservables sus *causas*, sus *agentes* y las *acciones* que fueron realizadas allí y entonces.

Por tanto, el *espacio arqueológico* es un subconjunto del *espacio geográfico* en el que no existe una relación directa entre la acción y las consecuencias de la misma, ya que entre ambas y el proceso de investigación arqueológico, existe un *lapsus* temporal que impide la percepción directa de las acciones causales y sus efectos materiales²⁴.

Según lo dicho, *el espacio arqueológico*, como ámbito de conocimiento, precisa de una serie de caracteres mínimos, que lo definan:

- i. Que los *sujetos* de la acción sean algún tipo de *agente social*, ya sea una colectividad de individuos, ya sea un principio institucional, o un individuo aislado que ejecute una tarea determinable.
- ii. Sin posibilidad de percibir las acciones de manera directa o indirectamente, ya que el intervalo temporal de ejecución de las mismas pertenece al pasado y no es posible acceder a ellas, pudiendo establecer una aproximación a las acciones causales mediante los efectos materiales observables.
- iii. Que la fracción de *efectos materiales* de las acciones sea lo suficientemente significativo para que tenga validez tanto en el diseño como en la aplicación de un programa de investigación acerca de la variabilidad espacial.

²⁴ Por ejemplo, en arqueología se emplea el término *espacio doméstico* (household) como etiqueta de un conjunto de entidades (artefactos, ecofactos, ...) a las que se les atribuye unas acciones causales asociadas a la esfera del mantenimiento y la reproducción social. De este modo se establece una relación directa entre la localización de la entidad y la posible funcionalidad de la misma, creándose así la unidad espacial significativa y diferencial dentro del complejo registro arqueológico.

El *espacio arqueológico* es una estructura de efectos de acciones sociales y eventos naturales. Por ello, para comprender un *espacio arqueológico* es necesario conocer cómo las acciones sociales y las naturales han cambiado y cómo son esos cambios, en otros términos, el análisis de la variabilidad espacial será incompleto si no se articula a través de una explicación de la naturaleza del evento.

Por consiguiente, resulta esencial **describir** el *espacio arqueológico* no como un conjunto de “cosas modificadas”, sino en términos de aquellas características o propiedades físicas que definen la modificación o el cambio producido. De ahí que lo que se deba documentar en el *espacio arqueológico* no sean meros objetos, sino *sucesos*: Cambios de estado en las propiedades que lo definen.

Al igual que en el *espacio físico*, la percepción y estudio de las *discontinuidades* del *espacio arqueológico* son fundamentales para establecer criterios de diferenciación y relación de los efectos materiales de las acciones sociales y naturales que tuvieron lugar en la porción de *espacio arqueológico* objeto de investigación.

Así que, si no hay discontinuidad no existe cambio con lo que no hay problemática material, ni por supuesto, espacial.

Una vez reconocida y atribuida ciertas características a la discontinuidad/es se puede empezar a plantear la problemática espacial, no sin perder de vista que ante un cambio en las condiciones de definición acerca de la discontinuidad/es, lo más probable es que exista un cambio en todo el ámbito del problema espacial a tratar.

La idea que sostiene todo este argumento es que la *discontinuidad* que pueda inducir una acción social (o un conjunto de acciones) podría albergar un determinado grado de concordancia con los límites en los procesos causales que han modificado una determinada porción de *espacio físico*.

El modo por el cual se caracterizan e investigan las *discontinuidades* en el *espacio arqueológico* es igual que en el caso del espacio físico, lo que significa que el arqueólogo debe realizar una encuesta bastante parecida a la que hace el geólogo en tanto a la percepción, caracterización y análisis de las variables que describen espacialmente determinado proceso.

No se trata tanto de describir lugares, sino en muestrear propiedades cualitativas y cuantitativas *en* el espacio y *a través* del tiempo. Esto quiere decir que cuando se realiza la arqueo-práctica no se debe buscar el *objeto* aislado (hueso quemado, desecho de talla,

lámina de sílex apuntada, fragmento cerámico,...), sino que se debe establecer la diferencia entre los valores que ciertas propiedades adoptan en distintas localizaciones. Por ejemplo, si se compara las diferencias observables entre los efectos materiales de un proceso de combustión localizado y las localizaciones vecinas en las que no tuvo lugar dicho proceso de combustión, se observa que en ciertos lugares la propiedad “termoalteración” tendrá un valor “presente”, en tanto que en otros, su valor será “ausente”. A través de la secuencia de presencia/ausencia, se podría establecer una aproximación a una serie de variaciones espaciales tales como puedan ser la capacidad calorífica del hogar, la luminiscencia que aporte,...

Del mismo modo, si la propiedad arqueográfica analizada es “unidad residencial”, las localizaciones en los que el valor sea “presente” coincidirán con los límites teóricos de una posible cabaña, que estarán rodeados por localizaciones en los que la variable adoptará el valor “ausente”. Ahora bien, si para esa unidad residencial se pretende definir un “interior” de un “exterior”, se podrá percibir ese límite claramente (muros, hoyos de poste,...), o se tendrá que inferirse mediante presencia/ausencia de determinados elementos a través de la presencia de densidades diferenciales sobre determinado tipo de hallazgos o cambios en la uniformidad compositiva de un suelo,... Un ejemplo que ilustra lo anterior, puede ser la determinación de estructuras en base a la presencia/ausencia de acumulaciones de restos de fauna consumida (huesos), evidencias de procesos de fabricación de herramientas, como puedan ser las esquirlas derivadas de procesos dirigidos al reavivado de filos sobre determinados instrumentales líticos,...

En general, las consecuencias materiales espacio-temporalmente de la acción social o natural suelen coincidir con cambios en las propiedades “visuales” o “compositivas” del *espacio arqueológico* en el que se define el suceso o sucesos.

Al margen de la acumulación de efectos materiales de una acción en una misma localización, cualquier acción que modifique el *espacio físico* provocará ciertos cambios en la apariencia de la región próxima a la localización de la acción. Por ejemplo, las variaciones de color que se suelen asociar a una diferenciación en la composición físico-química del sustrato, suelen ser una consecuencia característica de procesos causales, cuya localización espacial se repite a través del tiempo. En el *espacio arqueológico*, la termoalteración suele ser un indicio de una colección de acciones sociales determinadas, dicha variabilidad se puede identificar por una coloración característica y una variación

en las condiciones físicas (dureza, magnetismo, resistibilidad eléctrica,...) en un conjunto de localizaciones concretas.

Por todo ello, al realizar la excavación de un *sitio arqueológico* o la documentación de evidencias arqueológicas sobre un determinado *territorio*, no se está desenterrando objetos o georeferenciando algo dentro de una carta topográfica, sino que se intentará percibir el *espacio arqueológico* como un conjunto de valores que adoptan unas determinadas entidades en función a un determinado tipo de variabilidad espacial.

Según lo anterior, no existe ningún listado al uso de propiedades básicas del *espacio arqueológico* que pueden servir para caracterizar las modificaciones generadas por acciones sociales y procesos naturales, cuestión obvia, ya que la variabilidad social es finita pero casi inconmensurable, puesto que los mismos procesos pueden derivar en resultados materiales distintos y resultados materiales similares pueden ser perfectamente causados por procesos diferentes.

De tal modo que más que en usar una serie de descriptores fijos, se debería pensar en las características propias de las consecuencias materiales de la acción para poder definir conjuntos de discontinuidades congruentes. Ese número de características serán las que determinarán la *dimensionalidad* del *espacio arqueológico*: número de propiedades globales y particulares necesarias para describir las acciones sociales y/o biogeológicas responsables de los cambios de la forma, tamaño, contenido y textura de las discontinuidades percibidas en el *espacio arqueológico*.

1.4.2. Formalización métrica y topológica del Espacio Arqueológico

La formulación básica del *espacio arqueológico* se realiza mediante una representación de la variabilidad mediante un sistema vectorial de coordenadas, como mínimo, *pentadimensional* (tres corológicas, una cronológica, una material) desde el continuo espacio-tiempo *minkowskiano* bajo la siguiente notación:

$$v_i(x, y, z, t, m)$$

$$w_i(x, y, z, t, m)$$

Cada v_i corresponde a una variable social dependiente, cada w_i corresponde a las variables dependientes físicas. Ambas: v_i , w_i se usan a modo de variables cuantitativas que miden a toda una serie de valores que serán distintos/iguales en cada posición espacio-temporal, generando posibles discontinuidades.

Una *discontinuidad* no es otra cosa que la curvatura de la 1ª derivada de una *función* matemática que describe la frecuencia de una determinada entidad en el espacio muestral objeto de estudio. Esto se puede expresar a través de la fórmula del *gradiente espacial*, que se define como la tasa de cambio sobre valores de la variable dependiente en el espacio (Sonka et al. 1994). El gradiente espacial describe la modificación de la densidad espacial de una determinada cualidad en tanto al conjunto de localizaciones donde dicha cualidad se encuentra.

La definición física de discontinuidad espacial se basa en un conjunto de localizaciones que presentan mayor semejanza entre los valores que la caracterizan frente a otras localizaciones en las que los valores son disímiles. La noción de *homogeneidad* define la igualdad mayor o menor de los valores de una variable o de una combinación de cualidades en un determinado conjunto de localizaciones.

La homogeneidad se puede cuantificar a través de la *varianza*, que mide el grado de dispersión (*heterogeneidad*) que existe en una población. Con este cálculo, se puede efectuar una aproximación al límite de la homogeneidad en una determinada formación o lo que es lo mismo: percibir la *discontinuidad*. La existencia y percepción de la misma, *límites* y las *interfases* (heterogeneidad en las acciones y en la materia) da sentido al concepto de *localización*, siendo la *discontinuidad* la evidencia empírica del cambio. De este modo, las *discontinuidades* perceptibles en el conjunto de propiedades físicas permitirán la observabilidad del mismo hecho del cambio.

Según lo anterior, es posible medir la existencia o la ausencia de grados de *continuidad* o correlación espaciotemporal en los valores concretos que adoptan las propiedades que caracterizan a las consecuencias materiales de una determinada acción. Se toma como punto de partida, el hecho por el cual debe existir una relación estadísticamente significativa entre el valor de las propiedades que definen el *espacio arqueológico* (textura, composición, forma, extensión) y la distancia entre dos localizaciones consecutivas de la acción o proceso que ha generado esa modificación. Todo ello debe dar lugar a regiones estadísticamente homogéneas, esto es, con valores semejantes, delimitados por un cambio abrupto (o *discontinuidad de interfase*) (Houlding 2000).

En las ecuaciones anteriores, las propiedades definitorias del *espacio arqueológico* (variables dependientes de procedencia social y natural) se registran en términos de un sistema de referencias que combina un *componente cronológico* t (de manera relativa a través del principio de sucesión estratigráfica y de manera absoluta, mediante métodos de datación como el C14, ...), un *componente corológico* x, y, z (sistema euclideo 3D), y una componente *social-material*, definido por la materialidad que se encuentra asociada al tipo de acción social causal. Estas componentes se sintetizan en los siguientes puntos:

- i. Se parte de la imposibilidad de enumerar todos los valores que una variable puede llegar a adoptar la componente espacial, ya que por definición todo *espacio euclideo* es subdivisible en infinitos componentes de dimensión mínima (puntos), con lo que el valor de la variable espacial puede ser tanto más detallada como se deseé. Por ese motivo, se define un número finito, aunque potencialmente muy grande, de segmentos tridimensionales en el interior de los cuales, los valores de la variable tienden a ser constantes. Con esto se sugiere que el *espacio arqueológico* se puede dividir artificialmente en *unidades muestrales mínimas*, cuyas dimensiones pueden ser diferentes, siempre y cuando se respete la condición de la *invarianza interna*.
- ii. La componente cronológica es más compleja de precisar en la práctica, aunque la arqueología debe contar necesariamente con la variable *tiempo*, que es una de las variables independientes menos tratables. Incluso en el caso de dataciones absolutas, no se cuenta con valores escalares: números fijos, sino *intervalos de probabilidad* que constituyen estructuras matemáticas complejas. Por lo tanto, si bien el ideal para localizar los valores de cualquier propiedad serían números absolutos (-2500 a.e., 1400 a.e., 2001, ...), la manera más sencilla es usar variables ordinales: Periodo 1, Periodo 2, Periodo 3.
- iii. El componente social-material viene definido tanto por la aparición o por los cambios en la materialidad física, ambos son resultado directo o indirecto de la acción social del trabajo.

1.4.3. Dinámica del Espacio arqueológico

La dinámica del *espacio arqueológico* presenta una serie de mecanismos causales de la discontinuidad espacial, que se caracteriza por:

- a. Cambios *cuantitativos* en el *espacio físico*, donde (Q_i) es un output material de una acción social, que se puede medir en términos de valores numéricos, mostrando la variación desde, por ejemplo, propiedades estrictamente geométricas, criterios de distancia,...
- b. Cambios *cualitativos* en el *espacio físico*, donde (S_i) es un output material de una acción social, que se pueden medir en términos de presencia o ausencia de determinadas cualidades, a través del uso de descriptores topológicos,...

La posibilidad de observar discontinuidades en el *espacio arqueológico* es lo que permite establecer la posible influencia de una determinada variación espacio-temporal-material sobre otras variaciones que han sido causadas por acciones sociales y/o naturales. Como consecuencia, la estructura de relaciones que emerge ante las series de discontinuidades materiales (efectos de acciones) dependerá de **dónde** y **cómo** se han formado las diferentes discontinuidades observables.

Así que, el *espacio arqueológico* se percibe como un sistema dinámico, caracterizado por la variabilidad funcional de las localizaciones espaciales, temporales y materiales llevadas a cabo a través de una organización de acciones causales. Por ello, una característica individual aislada, como por ejemplo, una *piedra*, una *cerámica*, la *coloración* de cierto sedimento,..., o incluso un *asentamiento* entero, no podrá interpretarse por sí mismo, ni podrá mostrar sus peculiaridades funcionales por sí misma.

Necesariamente, cada elemento debe estar incluido en un **sistema de relaciones** con otras entidades (acciones, efectos, reacciones, condiciones,...). Por tanto, es necesario establecer una *estructura* o un modelo organizado de:

- Cambios en los valores de las *propiedades físicas*, que caracterizan las consecuencias materiales de la acción social (Δf_t).
- Cambios en las *localizaciones* de esas consecuencias materiales en el espacio físico (ΔS_f).
- Cambios en la *situación temporal* de esas consecuencias materiales (Δt_{fs}).

Todo esto conduce a las denominadas *transiciones* o *fases*, que son propiedades derivadas resultado de la combinación y variación de las propiedades básicas: **textura** (variaciones en las propiedades “visuales”), **composición** (variaciones en las propiedades estructurales), **forma** (descrita a través del análisis geométrico) y **métrica**.

Por tanto:

* Mediante el análisis estadístico de la variabilidad de *textura o diferencias de composición* emerge de un patrón de cambios en la localización de los sucesos particulares y globales.

* A través del análisis estadístico de la variabilidad de *forma* entre las discontinuidades definidas por una variación observable en textura o composición, emerge un patrón de cambios en el *gradiente* de cierta región del *espacio arqueológico*, que definirá un *borde o curvatura*, cuyas variaciones de orientación determinan los cambios de forma. El uso de la *topología* permitirá el estudio de los tipos de relaciones existentes entre las distintas propiedades de las discontinuidades percibidas, que expresarán las *transiciones de estado* entre las distintas *fases* en el *espacio arqueológico*, que se puede definir a modo de una secuencia de estados sucedidos en un trayectoria temporal donde la superficie física está siendo continuamente modificada por procesos acumulativos y dinámicas deformantes (construcción, excavación, limpieza/acondicionamiento,...) (Barceló et al. 2003, 2005). A cada una de estas regiones o *fases*, le corresponderá una transición, que puede definirse como aquel límite que indica una interrupción en el proceso causal.

Por tanto, el *espacio arqueológico* es interpretable en tanto a la capacidad de percepción de *discontinuidades de fase* entre sucesivos eventos. Por ello, se estudia *cómo* el cambio en la frecuencia de las localizaciones de los restos arqueológicos

(procedente de acciones sociales y naturales) puede establecer (bajo determinadas condiciones probabilísticas) alguna noción acerca de la acción causal.

Según lo dicho, la dinámica en el *espacio arqueológico* es una trayectoria en el espacio-tiempo-materia de los cambios, donde los *outputs* materiales de las acciones sociales representan una determinada posición-sucesión-estado de efectos causados por múltiples tipos de acciones. Al realizar el análisis de la dinámica del *espacio arqueológico* hay que centrarse, sobre todo, en las *interfases*. Aquellas se encuentran caracterizadas por una serie de propiedades cuantificables, teniendo siempre presente la unidireccionalidad temporal de los procesos causales, lo que permite establecer una serie sucesiva de cambios sin el problema de la reversibilidad.

El estudio de la dinámica del *espacio arqueológico* equivale, por tanto, a una descomposición analítica en términos de *discontinuidades* que cumplan la condición de ser estadísticamente significativas, aunque no sean perceptibles desde criterios de percepción visual o desde enfoques de tipo analógico (los cuales son los de mayor aplicación en la investigación arqueo-lógica).

En esta tesis se defiende que para poder detectar el *patrón de fase* generado por la distribución espacio-temporal-material de una determinada acción o conjunto de acciones (percibiendo sólo una fracción material de sus efectos), se debe utilizar las *superficies de densidad* como generalización de los valores locales que adopta la propiedad espacialmente distribuida en su conjunto de localizaciones.

Si el análisis abarca sólo el estudio de la variabilidad espacial de ciertos efectos materiales adscritos a determinada acción/es, entonces la representación de los valores locales que adopta la propiedad espacialmente distribuida en su conjunto de localizaciones, se realizará desde un gráfico de isolíneas.

Si el análisis también incluye la dimensión temporal en el estudio de la variabilidad espacial de ciertos efectos materiales adscritos a determinada acción/es, entonces la representación de los valores locales que adopta la propiedad espacio-temporalmente distribuida en su conjunto de localizaciones, se realizará a través de múltiples superficies relacionadas formando una *secuencia*. La idea central se basa en que esas discontinuidades entre fases contiguas se han construido dinámicamente y por tanto, evolucionan en el espacio y en el tiempo.

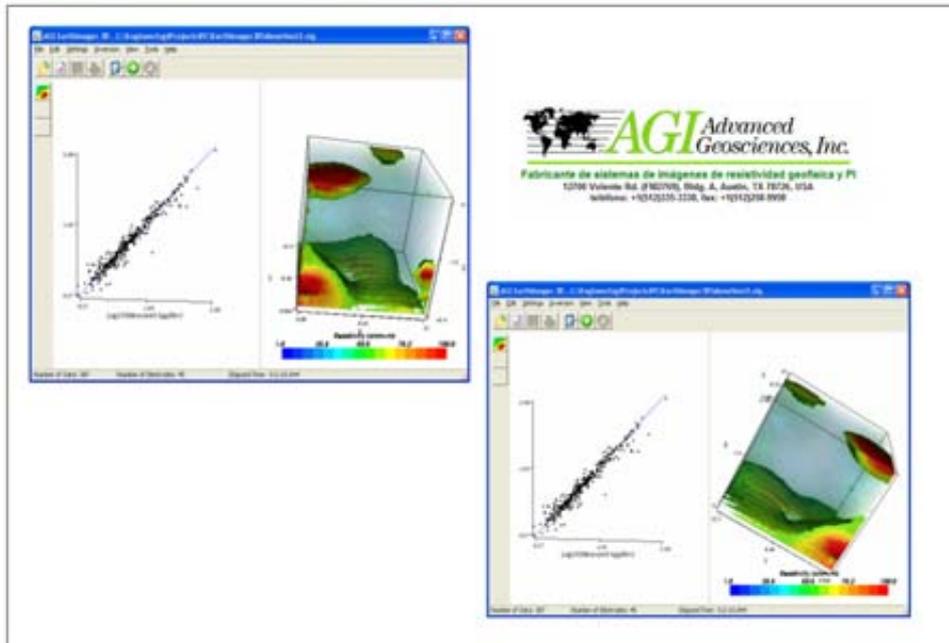


Figura 11: Ejemplo de un modelo espacial pentadimensional de *sucesión* de estados (superior izquierda: estado 1, inferior derecha; estado 2) en un proceso espacial. La coloración determina la intensidad de los valores locales de la variable dependiente en el espacio.

Capítulo 2

LA NATURALEZA LÓGICA DE LOS PROBLEMAS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA.

Índice General

INTRODUCCIÓN

- 2.1. EL PROBLEMA ESPACIAL EN ARQUEOLOGÍA.
- 2.2. LA “OBSERVABILIDAD” DE LOS PROCESOS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA.
- 2.3. LA CUANTIFICACIÓN DE LA RELACIÓN: NATURALEZA ESTADÍSTICA DE LOS PROBLEMAS ESPACIALES EN ARQUEOLOGÍA.
- 2.4. LA ESTADÍSTICA COMO VÍA DE ANÁLISIS DE LA *VARIABILIDAD ESPACIAL ARQUEOLÓGICA*:
 - 2.4.1. Aproximación al análisis de *Primer orden*.
 - 2.4.2. Aproximación al análisis de *Segundo orden*.
 - 2.4.3. Una aproximación a los *Límites de los procesos espaciales*.
- 2.5. LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA ESPACIAL ARQUEO-LÓGICO.

INTRODUCCIÓN

“¿No es misterioso que podamos saber más sobre las cosas
que no existen que sobre las cosas que existen?”

A. Renyi

La implementación del análisis espacial a escala micro se consolida en el momento en el que se introdujeron las técnicas empleadas en la descripción espacial²⁵. El uso de estas técnicas se limitaba, en la mayoría de los casos, a la elaboración de un mapa de localizaciones puntuales (los *hallazgos* en el área excavada o prospectada), las cuales servían para dar coordenadas en el área excavada a los objetos recuperados.

De acuerdo con este enfoque, la investigación espacial se preocupa únicamente de la localización de los restos arqueológicos, ya que mediante la ubicación de los restos materiales se podía restituir, subjetiva e intuitivamente, la dinámica social del yacimiento.

Es interesante observar que en la mayoría de representaciones espaciales de este tipo, tan sólo adquieren localización espacial determinados restos inmuebles, como la alineación de hoyos de poste, muros, pavimentos, estructuras de combustión,... Frente a esto, tanto objetos reconocibles (punta de flecha, cerámica fina,...) como desechos de procesos de trabajos (esquirlas de talla, basurales,...) no eran objeto del registro espacial por parte de la investigación.

En base a coordinar conjuntos de restos, se establecía una interpretación en términos de esas mismas localizaciones, como si el mapa o la representación gráfica de las evidencias fuese la respuesta a: *qué, donde y por qué* pasó en esa localización.

Tras la renovación que se produjo en todos los ámbitos de la arqueología mediante la *New Archaeology*, la manera de actuar en el análisis espacial se transformó radicalmente. Se empezaron a implementar técnicas procedentes del análisis espacial geográfico, la metodología usada en el trabajo de campo desarrolló nuevas encuestas para la recolección de datos espaciales, se incluían estudios etnográficos

²⁵ Como referente a la nueva metodología implementada, se toma el trabajo de Laplace, G. et Méroc, L. (1954) - « Application des coordonnées cartésiennes à la fouille d'un gisement », *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, t. LI, pp. 58-66.

(etnoarqueológicos) para reconocer y explicar determinadas pautas espaciales, se empezó a tener en cuenta los procesos post-depositacionales que afectan al registro arqueológico,... En definitiva, una renovación que llevó al desarrollo de diferentes tendencias en el estudio de la variabilidad espacial arqueológica (²⁶).

Según los contenidos e intereses de esta tesis, se citan algunos trabajos referidos a cuestiones teórico-metodológicas, que son la referencia fundamental a la hora de conocer hasta donde ha llegado el análisis espacial en arqueología. Así, destacan las publicaciones de Dacey (1973), Clark (1977), Whallon (1973a, 1973b, 1974, 1984), Baker (1975), Yellen (1977), Hietala & Steven (1977), Johnson (1977), Binford (1978), Zubrow & Harbaugh (1978), Orton (1977, 1978), Kintigh & Ammerman (1982), Simek & Larick (1983), Carr (1984), Johnson (1984), Berry et al (1984), Simek *et al* (1985), Ammerman *et al* (1987), O'Connell (1987), Koetje (1987), Buck *et al* (1988) Djindjian (1988, 1990a), Simek (1989), Gregg *et al* (1991), Rigaud & Simek (1991), ..., entre otros²⁷. En los trabajos citados, se implementaron diferentes técnicas de análisis en diferentes coyunturas materiales, lo que da una amplia *panoplia* tanto en metodología como en la variedad de los casos de estudio.

Toda esta producción científica ha permitido la elaboración de trabajos de síntesis en los que el fin era la integración del conocimiento producido por las diferentes investigaciones que implementaban técnicas concretas sobre casos arqueológicos particulares. En esta línea, destacan los trabajos de Hodder y Orton (1976), Hodder (ed) (1978), Hietala (ed) (1984), Carr (ed) (1985), Rahtz (ed) (1988), Kintigh (1990), Kroll & Prince (1991), Blanckholm (1991),..., entre otros. En el caso español destacan las publicaciones de *Coloquios de Arqueología Espacial* durante la década de los 80 y 90 editados por F. Burillo (Colegio Universitario de Teruel. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense), que abarca un conjunto de publicaciones en donde se sintetiza el avance en el análisis espacial arqueológico, dedicando volúmenes especializados según distintas temáticas asociadas al análisis espacial (microespacio, territorio, fronteras, procesos post-depositacionales, arqueología del paisaje, espacios de género,...).

²⁶ Para ampliar sobre esta temática se recomienda el trabajo de N. Sanz Gallego (1993). Sobre las diferentes perspectivas de análisis espacial micro se recomienda el trabajo de G. Wunsch (1991).

²⁷ La producción científica sobre análisis espacial es considerable. Basta con revisar las publicaciones del *Achaeologia e Calcolatori*, *CAA* y *UISPP* para ver la cantidad de artículos referidos al análisis espacial: en estas páginas solo se citan una serie de trabajos que a juicio de esta tesis se consideran fundamentales en el devenir del análisis *intrasite*

Probablemente sea el trabajo de H.P. Blanckholm (1991), el último de esta tendencia compiladora, ya que como argumenta C. Orton (Orton, 2005) a partir de la década de los 90, el análisis espacial cuantitativo entró en crisis debido al ascenso de la corriente teórica interpretativa post-moderna y al desarrollo de la visualización automática (GIS).

La crítica más importante se originó desde la misma corriente analítico-cuantitativa, ya que la relación coste-beneficio entre la metodología de análisis y sus resultados demostró ser una relación deficitaria en tanto al valor de los resultados obtenidos frente al esfuerzo analítico realizado.

Los resultados conseguidos tras las extensas rutinas estadísticas, no satisfacían las expectativas puestas en ellas y suponían una tarea pesada y compleja (con la posibilidad de inducir en errores de análisis en alguna fase del proceso). Junto a ello, se debe tener en cuenta que en numerosas ocasiones no se contaba con una reflexión adecuada *acerca de qué* tipo de categoría material (restos arqueológicos) podría *ajustarse a qué* patrón espacial y lo que aquello podría llegar a implicar, tanto a nivel del problema espacial a tratar, como relacionado a las cuestiones sociales que pudiera resolver.

Frente a esta situación de estancamiento, tanto el desarrollo informático, como en los medios topográficos de captura y gestión de la información espacial, han permitido el inicio de una nueva etapa en la investigación estadística espacial.

Ahora bien, tanto los procesos aplicados en la captura de datos (estación total, scanner 3D) como la capacidad de cálculo y el grado de automatización de procesos en la computación, resultan ser significativamente superiores a las necesidades/expectativas de la propia disciplina arqueológica, con lo cual no sólo se puede implementar series de algoritmos que en el pasado eran complejos y arduos (por ejemplo los asociados al análisis Cluster), sino que actualmente se están empezando a implementar nuevas herramientas analíticas y nuevas perspectivas de investigación (²⁸).

Actualmente, el volumen bibliográfico empieza a ser considerable (no tanto como en la década del los 80) y también diverso acerca de los contenidos que tratan la variabilidad espacial a escala micro, algunos trabajos innovadores y de interés para esta tesis son: Westcott, K. L. & Brannon, R. J. (Eds.) (2000); Craig, N. (2000); Moyes, H. (2001); Barceló, J. A. (2002); Aldenderfer, M. & Craig, N. (2002); Barceló et al (2003); Barceló,

²⁸ En esta línea destacan los trabajos de Lloyd & Atkinson (2004) sobre aplicación de Geoestadística en arqueología y el de Craig, Aldenderfer, Moyes (2006) que trata aspectos de visualización multivariada aplicada a *intrasite*

Maximiano & Vicente (2004); Craig, N., Aldenderfer, M., & Moyes, H. (2004); Hardy-Smith & Edwards (2004); Maximiano, A. (2005); McPherron, S. (2005); Barceló, J. A. & Maximiano, A. (2006); Kooyman, B. (2006); Losier, Pouliot & Fortin (2007); Barceló & Maximiano (2007) Lenoble, A. Bertran, P. Lacrampe, F. (2008).

2.1. El problema espacial en arqueología

En el *espacio arqueológico*, la percepción de variación está causada por series de acciones sociales y procesos naturales que tuvieron lugar en el área muestral de *espacio físico* observado. Por consiguiente, el problema espacial en arqueología hace referencia a acciones sociales y a procesos naturales, según *dónde* hayan tenido lugar y según el tipo de efecto material que hayan producido.

Si la investigación de la variabilidad espacial en los valores de esas propiedades se formula de manera congruente, se podrá alcanzar determinados aspectos vinculados a la esfera de lo social mediante una fracción de efectos materiales. Por tanto, la pregunta básica en cualquier problema espacial, ya sea o no arqueológico, se formula del siguiente modo:

¿Por qué x está donde está?,

De acuerdo con la definición de espacio *como estructura relacional*, la respuesta a esa pregunta sería:

Porque y está allí.

En otras palabras, el análisis espacial implica plantearse *por qué* la localización de un evento está *relacionada* con la localización de otros eventos. Por ejemplo: ¿Por qué los restos de escoria de fundición, están localizados próximos a una estructura de combustión confeccionada con piezas refractarias?, ¿Por qué los fragmentos de huesos de animales están localizados en las proximidades de una acumulación de carbones? o ¿Por qué en el interior de una cabaña aparece una densidad de restos muy baja frente a lo que sucede al exterior?

Para poder resolver estos *¿por qué?*, se deberá averiguar *cómo* ciertas consecuencias materiales de acciones sociales han llegado a ubicarse en esa localización. Por consiguiente, el análisis de la variabilidad espacial es el primer paso a la hora de abordar la problemática espacial objeto de estudio.

De tal modo que a través del cálculo de las diferencias y semejanzas desde el punto *a* hasta *b*; desde *a* hasta *c*, desde *b* hasta *c*,... (matriz $n \times n$), se establece la relación espacial que existe entre cada una de las entidades existentes en el área muestral, permitiendo así reconocer algunas nociones sobre la distribución espacial observada.

Pero la naturaleza del problema espacial arqueológico está más allá de la cuantificación métrica de las distancias (espaciales y temporales) entre entidades. El *proceso causal* se convierte en el objetivo de la investigación espacial, que se concibe como un complejo conjunto de *mecanismos* que explican el modo en el que se estructuran las distribuciones de acciones y sus productos, en tanto a una determinada pauta (*proceso espacial*).

El hecho de atribuir un determinado *proceso espacial* a una distribución, permite asignar un modelo causal acerca de la *variabilidad espacial*, ya que el objetivo final es poder establecer la relación causal entre el *efecto material observado* y la *acción*, no observable, que causó la distribución de los efectos materiales. Es necesario conocer el tipo de principio causal que afecta a una determinada *extensión*, en una determinada *duración* y sobre una *calidad* concreta.

Ahora bien, no todo problema espacial formulado en esos términos tendrá una solución lógicamente determinable, ya que en arqueología la causa de la distribución espacial observada sólo puede ser inferida a partir de la experimentación controlada, por deducción rigurosa o por criterio analógico. Por ejemplo, observando en circunstancias controladas distintas situaciones en las que animales carnívoros carroñearon una carcasa de un animal, existirá la posibilidad de establecer una hipótesis, lo suficientemente significativa, acerca del proceso espacial que ha causado la distribución observada de los huesos (Mameli, Barceló y Estevez 2001). Alternativamente, se podrá estudiar qué *relación* existe entre la localización de los huesos de ese animal y las características microtopográficas del suelo en el que se han encontrado y que, verosímelmente, constituyó el suelo original en el que tuvo lugar el evento de la muerte del animal.

Algo más complejo puede ser el caso de la problemática espacial planteada por una *cabaña*. Si sólo se dispone de ese elemento, nunca se podrá saber porqué esa *cabaña* está donde está, ya que no se dispone de ningún factor a relacionar que pudiera explicar causalmente su ubicación en una determinada localización del *espacio físico*.

El problema espacial sólo tendría sentido, si se pudiera disponer de otras *cabañas* cuya localización en referencia a la primera fuese conocida y además, existiera información adicional acerca de los procesos sociales (actividades de trabajo) que configuraron la materialidad de cada una de esas *cabañas*, así como de los procesos naturales y/o antrópicos que configuraron el suelo o *espacio físico* sobre el cual las *cabañas* fueron construidas. Ahora bien, si la entidad “*cabaña aislada*” no constituye un problema espacial, las distintas materialidades observadas en el interior/exterior del *espacio físico* discreto que configura el *espacio construido* de la *cabaña*, sí constituyen un problema espacial.

No se puede llegar a determinar las causas de porqué la *cabaña* está donde está, pero sí se podrá averiguar porqué la basura aparece donde aparece, por qué los restos consumidos se acumulan al pie de la pared, por qué las piezas de telar están al lado de la puerta,..., ya que existen diferentes conjuntos de restos materiales que representan a diferentes acciones (sociales y naturales), que posiblemente, tuvieran algún tipo de relación entre sí. Por ejemplo: ¿Por qué los restos de lascas retocadas aparecen junto a los fragmentos no quemados de fémur de ciervo y junto a la entrada de la *cabaña*, mientras que los carbones de menos de 1cm. cúbico se concentran alrededor de los límites del espacio construido, y equidistantes del lugar en el que se localizó el hogar central?

La resolución del problema espacial implicará, necesariamente, el análisis de la relación entre la distribución espacial observada de las evidencias arqueológicas y la modalidad espacial de los factores causales (trabajo humano, acción de carroñeo, transporte post-depositacional, etc.). El problema espacial arqueológico, se puede expresar a través de las siguientes preguntas:

- ¿Qué tuvo lugar aquí?
- ¿Cuándo tuvo lugar?
- ¿Cómo tuvo lugar?
- ¿*Por qué* tuvo lugar aquí, en este momento y de esta manera, y no en otro lugar, en otro momento y de otra manera?

Las respuestas a estas cuestiones no se pueden encontrar en la mera localización y descripción de los restos materiales de la/s acción/es, ya que desde aquellos efectos materiales, no se puede establecer ninguna explicación que revele el *porqué* y *cómo* están en esos *locus* y no en otros.

2.2. La “observabilidad” de los procesos espaciales en arqueología

La dificultad, que plantea el problema espacial en arqueología, se centra en que la acción causal que explica la localización de las entidades objeto de estudio no puede ser observada directamente, es decir, no existe ninguna posibilidad de percibir al *agente* que realizó la acción en el pasado, aunque existe la posibilidad de diferenciar una parte de los efectos (directos y/o indirectos) de esa acción.

Del mismo modo que ocurre en geología, los casos de investigación arqueológicos parten desde la observación de una serie de efectos o consecuencias, para ser más precisos, de la fracción conservada y en ocasiones, alterada de los efectos de algunas acciones. Por ello, la única interpretación de la variabilidad espacial arqueológica será posible desde un tipo de enfoque vinculado a la noción del *cálculo integral*, en el que se parte del “resultado” para conocer la función o primitiva, que produjo la variación observada, en otros términos, la investigación espacial en arqueología es un ejercicio de **razonamiento inverso**, cuyo objetivo es obtener información a partir de un *producto*, dirigido a determinar su composición, su dinámica y sus causas.

El planteamiento del razonamiento inverso es diametralmente opuesto al que habitualmente se implementa en lógica clásica. En lugar de partir de una descripción de la situación inicial para inferir su consecuente, el razonamiento inverso utiliza las evidencias disponibles sobre que cierto consecuente ha sido producido y con ello, se averiguan sus posibles causas. Se convierte en un método de resolución y su aplicación se centra en llegar a determinar el estado inicial, dado la observación del estado final de determinado sistema (Barceló, 2008).

Este enfoque es muy interesante para la arqueología, ya que la aplicación en el ámbito de la *variabilidad espacial* debe partir de la consideración por la que las *localizaciones en el espacio físico*, las distancias geográficas entre esas localizaciones y la estructura

dimensional que emerge de ellas, responden a factores causales de algún tipo que, por definición, serán externos a lo espacial, es decir, sólo desde la comprensión de materialidad y desde la acción humana y/o bio-geológica, se puede llegar a entender la espacialidad. Como ya se ha dicho en la sección anterior, si no se sabe que cierto observable es (fue) un hueso de ciervo o un fragmento de una vasija de cerámica que contuvo vino, o leche fermentada,..., nunca se podrá llegar a interpretar por qué está donde está o cómo llegó a esa localización.

Por ejemplo, que en cierto *lugar* se hubieran realizado actividades de carnicería, es una inferencia muy efímera a la que se llega partiendo, fundamentalmente, del análisis de la materialidad, antes que del análisis de las distancias físicas entre observables: huesos con marcas, esquirlas de reavivado de filos, trazas de uso en los artefactos recuperados en las proximidades, etc. La *localización* de esos restos proporcionará información acerca de *cómo* tuvo lugar la acción, pero difícilmente define la ubicación de la acción, ya que es tan sencillo como que la georeferenciación de un conjunto de instrumentos destinados a cortar sobre materia blanda, no permitirá establecer la localización de la acción de cortar.

Este ejemplo trivial, sirve para mostrar la paradoja fundamental de todo problema espacial en arqueología, que se centra en que no se podrá resolver a partir de la información intrínsecamente espacial (estudio de la *estacionariedad*, *autocorrelación*, patrón espacial,...) sino que será necesario relacionar esa información espacial con las características materiales (forma, tamaño, composición y textura) de los observables. Sólo a través de dicho proceso, se podrá establecer un discurso interpretativo que vaya más allá de la cuantificación y descripción en la distribución de objetos.



Figura n° 12: Fotomontaje, donde se ejemplifica los restos (en blanco y negro) y la acción (en color) realizado con partes de imágenes separadas procedentes de:

http://nethistoire.free.fr/campement_de_cro-magnon.php; <http://en.wikipedia.org/wiki/Magdalenian>

En la imagen en blanco y negro, aparecen un conjunto de restos óseos, líticos, evidencias de termoalteración, límites físicos de una cabaña,... Pero ese mapa de distribuciones no puede revelar nada por sí mismo, tan sólo puede establecer unas distancias y unas intensidades acerca de toda una serie extensa de evidencias materiales. El matiz se produce con la figura imagen en color, en la que se recrea a los actores realizando acciones en diferentes localizaciones y generando con ello, diferentes tipos de distribución espacial de restos materiales.

Según lo anterior, se puede observar cómo determinadas acciones sociales (trabajo humano) producen unos efectos materiales, que pueden llegar a ser percibidos en el registro arqueológico. Así que, a la hora de diseñar el tipo de investigación sobre la *variabilidad espacial* que caracterizan a los efectos materiales de una determinada acción social, necesariamente, se deberá partir *desde* la percepción de una serie de *discontinuidades* observables, cuya materialidad haya sido interpretada previamente y desde la cual, se puedan establecer problemas que sean espacialmente solubles.

Por ello, cabe preguntarse: ¿Cómo se entenderían conceptos interpretativos tan habituales como “*espacio construido*” o “*espacio doméstico*”? En realidad, no son respuestas a un problema espacial, sino una atribución nominal que suelen hacer los arqueólogos sobre un conjunto de distribuciones espaciales.

Atribuir tanto la explicación como el proceso espacial que define una distribución, es un ejercicio en el cual se relacionan los observables consigo mismos y con los demás, en base a un modelo de comportamiento espacial, es decir, describir un sistema *complejo y dinámico*, en el que cada población espacialmente distribuida desempeña un papel concreto en relación a las demás poblaciones localizadas en el *espacio arqueológico*. Por ejemplo, es la materialidad específica de unos observables (truncos, hoyos para poste, zanjas, piso,...) junto a otros (restos de cerámica, presencia de termoalteraciones,...), lo que permite establecer la existencia de un “espacio construido”.

El resultado final debería ser el esquema de una compleja *estructura relacional* de un determinado *proceso espacial*, integrado en una dinámica amplia, co-existiendo con otros procesos. Así que, el proceso objeto de estudio, se podrá caracterizar y equiparar con los de otras distribuciones, en base a conceptos como: *vecindad, recubrimiento, estacionariedad, superposición, compacidad, distancia métrica*,... Todo ello, permite

establecer una *geometría de efectos* en función de los *procesos espaciales* causantes de la *variabilidad, localización y relación* en determinada región espacial.

Para ejemplificar lo dicho, se toma el caso hipotético de una estructura de habitación (y su periferia) de un conjunto social adscrito a la dinámica de cazadores-recolectores, en la que se plantea interpretar la causa de la distribución espacial de una serie de observables, documentados en el registro arqueológico: restos de talla, restos de fauna, maderas y hoyos de poste, carbones y termoalteraciones, restos malacológicos, etc. Para ese tipo de evidencias, se cuenta con un tipo de información básica que informa acerca de las causas que la produjeron: no son meras *pedras*, sino objetos líticos usados para cortar o raspar, no son *huesos*, sino evidencias de consumo de mamífero y aves, no son *agujeros de postes*, sino restos estructurales de una edificación (toldería, cabaña,...), no son *carbones*, sino evidencias de acciones dirigidas a variar las condiciones de temperatura y luz en un determinado espacio (interior de la cabaña), etc. La cuestión principal se centra en, por ejemplo, averiguar *dónde* se realizaron las acciones de carnicería y *cómo* gestionaron el residuo (si lo hay): ¿Por su proximidad/lejanía al foco de luz y calor?, ¿por las características edilicias del espacio construido?...

El problema espacial se reduce a encontrar la causa de la localización en términos de las acciones y/o eventos que se realizaron simultáneamente en la vecindad y que permiten o reprimen la realización de actividades en su proximidad.

Si la problemática fuera distinguir, por ejemplo, lo “*ritual*” de lo “*doméstico*” en base a las distribuciones espaciales de los elementos arqueológicos observados, habría que decir que el problema no es soluble, ya que se estaría mal formulado, ya que la funcionalidad de un espacio no se define en base al tipo de restos espacialmente distribuidos, sino al conjunto de acciones que se atraen o repelen, configurando la funcionalidad de lo que se conoce como “*ritual*” o la funcionalidad de lo que se define como “*doméstico*”.

Un caso arqueológico que ejemplifica un tipo de dinámica espacial de acciones (Nocete 1994; 2001) donde la asociación es positiva (atracción) sobre un conjunto de localizaciones concretas (lo que el autor define como *asentamientos dominantes*) de acciones destinadas a la coerción social y a la explotación en la producción de alimentos por parte de unos segmentos sociales sobre otros.

2.3. La cuantificación de la relación: naturaleza estadística de los problemas espaciales en arqueología

La *variabilidad espacial* percibida en el espacio arqueológico supone una serie de acontecimientos que se encuentran bajo algún tipo de relación definida en tanto a la *atracción*, la *repulsión* o la falta de ambas (*independencia*), lo que lleva a formular la siguiente pregunta:

¿Está la distribución espacial Z relacionada con la distribución W ?

“Relación” significa que existe una variación vinculada entre, como mínimo, un par (de entidades). Así que, cuando una varía, la otra también. Al existir relación, surgen dos preguntas básicas:

¿Qué sentido tiene la relación?

¿Quién influye sobre el otro?

El objetivo es encontrar argumentos causales de la localización en base a la relación espacial, que exista entre las entidades. En palabras de Barceló y Pallarés (Barceló & Pallarés 1998) se reconoce como: “...*social actions should be analyzed as conditioned and/or determined by other actions, because they have been performed in an intrinsically better or worse spatial/temporal location for some purpose because of their position relative to some other location for another action or the reproduction of the same action*”.

Así que, la realización de una acción en una determinada localización, establecerá una vecindad espacial en la localización de las demás acciones mediante la atracción, la repulsión o la independencia. Esto permite reconocer si lo que sucede en una determinada localización, es la causa de lo que sucede en las localizaciones vecinas, lo que en palabras de Barceló (Barceló 2002): “...*we should explain why the location of social actions is homogeneous or heterogeneous in the area defined by the performance of those actions...Our objective is then to analyse where, when and why a social action varies from one location (temporal-spatial) to another because social action is never performed isolated or in an abstract vacuum*”

Desde la perspectiva relacional, se pretende estudiar la direccionalidad de la acción social, considerando el lugar de la acción como *punto de atracción o repulsión* de todos los efectos materiales que pudieran resultar de esa acción, así como los de todas las acciones que pudieran estar vinculadas con ella.

El problema espacial arqueológico deberá analizar qué tipos de acciones sociales tienden a la *atracción*, a la *repulsión* o no se encuentran influenciadas en/sobre otras acciones. Sólo desde ese enfoque, se pueden conocer los límites (interior/exterior de unidad ocupacional), intersecciones (unas acciones o mejor dicho sus efectos, se solapan o cortan a otras...) o discontinuidades operativas (espacios donde se localizan acciones productivas: una fragua, un taller de sílex, espacios destinados a las acciones de consumo: almacenaje en silos...), que definen la dinámica del espacio.

La perspectiva relacional permite el estudio de cualquier tipo de *espacio social* en términos de su propia dinámica. En el caso del *espacio arqueológico*, se deberían comprender las relaciones entre un conjunto de acciones que se atraen, las que se repelen y las que no se ven influenciadas, todo ello desde una fracción de efectos contenidos en el registro material arqueológico.

La determinación de las relaciones debe obtenerse mediante la caracterización previa de la variabilidad espacial percibida. Existen diferentes vías de percepción y descripción de la variabilidad. A continuación, se desarrolla un tipo concreto basado en las nociones de *incertidumbre* y *entropía*. Esta elección se debe a que la investigación arqueológica no puede percibir directamente las acciones que causaron el conjunto de efectos observados y es eso, lo que hace que el análisis de la variabilidad espacial, en casos arqueológicos, sea eminentemente *heurística* (presencia de cierto grado de *incertidumbre* a la hora de reconocer y caracterizar *procesos espaciales*).

El/los proceso(s) causal(es) nunca puede(n) ser reproducido(s) fielmente, salvo que sea un ejemplo trivial, lo que implica un grado de interpretación eminentemente *probabilístico* sobre la relación causa-efecto. A pesar de esta condición científica, la arqueología contemporánea suele asumir el carácter determinista de los procesos causales y cuando éstos fallan, se afirma con demasiada rotundidad la imposibilidad de toda interpretación.

Para algunos autores, las posibilidades de interpretar la *variabilidad espacial* de lo observado están en función de descubrir la regularidad universal existente entre las acciones humanas (y/o procesos bio-geológicos) y la localización de sus consecuencias materiales. Hay autores que incluso, llegaron a creer que esa universalidad de los procesos espaciales puede sistematizarse en una especie de diccionario, cuya consulta permitiría responder a cualquier tipo de problema espacial.

Los partidarios de este enfoque afirman que las distribuciones de restos materiales podrían comprobarse “actualística” o analógicamente, en aquellos conjuntos materiales, cuyo proceso de formación se hubiera podido simular en el laboratorio o ser observados en condiciones controladas. Como ejemplos paradigmáticos de esta perspectiva, se citan los trabajos clásicos de L. R. Binford (Binford, 1977; 1981) y M. Schiffer (Schiffer 1987).

Pero la resolución de los problemas espaciales no es tan sencilla, ya que la combinación de procesos y circunstancias atenuantes que pudo haber originado la distribución de las evidencias materiales es muy extenso, impidiendo establecer correspondencias simples y/o lineales entre lo *interpretable* y lo *observado*, ya que difícilmente se pueden formular principios uniformizadores acerca de la variabilidad de la acción humana. En realidad, incluso, los avances metodológicos más recientes (Barceló *en prensa*) proporcionan poco fundamento para conectar esas inferencias con otra cosa que no sean procesos muy simples de alteración post-depositacional o localización trivial de la acción, ya que en ocasiones, las mismas dinámicas *causales* pueden llegar a producir *resultados* muy distintos en circunstancias y/o en contextos parecidos.

La problemática principal se centra en determinar si los observables arqueológicos pueden atribuirse a una determinada acción social o natural, ya que otras acciones (antrópicas y naturales) actuaron al mismo tiempo y a posteriori de la acción, que se intenta caracterizar en base a un conjunto de restos que supuestamente se atribuyen a ella.

Se parte de la condición por la cual todos los procesos post-depositacionales provocan un incremento de la entropía (grado de desorden) sobre los restos materiales que conforman el *espacio arqueológico*. En esta línea, destaca el trabajo de Carr (1984) y Urbanczyk (1986), en donde se distinguen los *conjuntos de actividad*, de los *conjuntos depositados*.

Los artefactos y restos que repetidamente se encuentran de manera adyacente en el registro arqueológico, son caracterizados como *conjuntos depositados*. Por otra parte, los conjuntos de útiles que fueron utilizados en el pasado para realizar una acción determinada se denominan *conjunto de actividad*.

La distinción entre ambos tipos es necesaria porque pueden ser muy distintos en los atributos que definen, ya sea su materialidad, como su distribución especial, o bien, su relación con otras entidades. Se recuerda, que no se puede inferir que cierta acción tuvo lugar en determinada ubicación simplemente porque allí aparecen efectos materiales que supuestamente definen esa acción. Por ejemplo: Una distribución no aleatoria de raederas no garantiza que allí se realizaran tareas de raspado.

Además, se debe tener en cuenta que la solución a un problema espacial hará referencia a la última acción social (o bio-geológica) responsable de la localización del observable arqueológico. Esto es, no se puede averiguar dónde se situó el *tallador*, si después de haber sido depositados en una determinada localización (la dispersión lógica al tipo de tallado realizado), esos *restos de talla* han sido limpiados del área donde se encontraban. Según lo dicho, el problema espacial en este caso, hará referencia a la acción de limpiar y no a la acción original de realizar una actividad vinculada con la talla de determinado instrumental.

Es importante tener siempre presente que generalmente, a menos que sea una *coyuntura pompeyana*, las acciones percibidas en el *espacio arqueológico*, no son las últimas realizadas en aquel, ya que en ocasiones, existe toda una serie de actividades de (por llamarlas de algún modo) *clausura* del sitio por parte de los agentes sociales, lo que provoca una gestión concreta del espacio en base a una serie de acciones asociadas a la noción de *clausurar un lugar* (estas acciones pueden asociarse a la limpieza del lugar, a la no limpieza del mismo, a la gestión de un determinado tipo de residuo, a la generación de determinadas concentraciones de restos, a la dispersión aleatoria de determinados restos,...) El resultado es un conjunto de efectos particulares, que sólo tiene una vinculación causal indirecta con la dinámica de *causas-efectos*, que normalmente se encontrarían en dicho sitio. De ahí, la supuesta *bondad* en aquellos casos arqueo-gráficos, en los que existe lo que comúnmente se conoce como: “*sellado por un nivel de incendio*”. En estas condiciones, se refleja la distorsión producida por el evento incendio, es decir, una ubicación final de los *efectos materiales* asociada a la

localización de la *acción catastrófica* que los generó y que en ocasiones, mantiene la ubicación original de los efectos materiales de otras acciones.

A modo de reflexión arqueológica sobre lo dicho, se enuncia el siguiente caso hipotético: un *agente*, ubicado al costado de una “choza” realiza un determinado *trabajo* compuesto de diferentes acciones para conseguir un instrumental lítico que le permita realizar otra tarea (por ejemplo cazar, de tal modo que está obteniendo puntas de flechas). Se supone que este *agente* talla varias piezas líticas en un determinado lugar, el resultado será unos productos terminados (por ejemplo tres puntas de flecha, dos cuchillos, un punzón) y una serie de subproductos intrínsecos a la consecución de los objetos de trabajo pretendidos (comúnmente conocidos como *desechos de talla*,...).

En definitiva, aquel *agente* dejará un *área* en la que se encuentran diferentes tipos de “desechos”, resultado de las acciones realizadas en esa localización. Si ese yacimiento es excavado, bajo dos condiciones diferentes de la preservación del sitio, se podrá concluir:

1. Si el lugar fue clausurado y no se realizaron en él otras acciones, por las circunstancias que sean y el análisis de la materialidad determina que los restos son “desechos de talla” pertenecientes a la realización de unas acciones de trabajo, se podrá inferir la localización probable de diferentes tipos de acciones en ese lugar.
2. Si el lugar no fue clausurado y por ejemplo, en esas localizaciones se produce una *escorrentía* que redistribuye los restos de la actividad realizada, en el análisis de la materialidad se reconocerá que son *desechos de talla*, pero ahora bien, su *interpretación espacial* puede ser muy distinta a la original, ya que la *distorsión* neutraliza la relación espacial prístina. Probablemente, la distribución siga un nuevo tipo de patrón espacial, lo que llevaría a interpretarla como un área de limpieza en donde van a parar restos de talla realizados en otro lugar (por ejemplo interior de la cabaña) o en el mejor de los casos, determinar el proceso deformante (*escorrentía*, raíces, animales,...), en donde se certifica la imposibilidad de atribuir la relación espacial entre acción original y efecto documentado.

Este hipotético ejemplo permite reflexionar acerca de las expectativas epistemológicas que puede alcanzar el análisis de la variabilidad espacial arqueológica, por muy sofisticada que pueda llegar a ser.

La implicación principal confirma que no es la *cantidad* de restos documentados acerca de un determinado tipo de fenómeno (la talla lítica), sino las *cualidades* que existan sobre la materialidad objeto de estudio, lo realmente importante.

Se debe asumir que la distribución espacial de la materialidad arqueológica responde a determinadas *pautas*, que siguen el planteamiento ya enunciado por Cowgill (Cowgill 1970), que define la materialidad arqueológica como la observabilidad de una serie de acontecimientos, en donde lo “arqueológico” significa percepción en el presente de algo que sucedió en el pasado, prevaleciendo sólo una fracción de todas las consecuencias materiales.

Esta línea argumental parte de la premisa por la que en un primer momento (t_0), tanto los restos materiales, como la localización de las acciones, suelen guardar cierta coherencia con la *actividad social* que los generó. Ahora bien, a medida que pasa el tiempo, (no entendido aquel como agente causal, porque en el tiempo no existe causalidad, solo devenir) se producen acciones que podrían alterar la relación espacial entre la acción y sus efectos materiales. Esto conduce al hecho de que se puede generar un nuevo patrón en la distribución de los efectos, causado por la deformación que ocasiona otra acción posterior. Como consecuencia, los efectos presentan una nueva configuración en el espacio, que anula la relación previa entre causa y localización de efecto. El resultado es que crece la distorsión espacial: la *entropía* del sistema relacional causa-efecto incrementa.

Aproximarse al *grado de entropía* que existe en un yacimiento, es un paso necesario a la hora de contextualizar las distribuciones espaciales. El *grado de entropía* no está necesariamente relacionado con el incremento en la dimensión temporal (conforme más antiguo, mayor entropía, menor orden), sino con todo un conjunto de atenuantes que influyen en el complejo sistema del espacio arqueológico.

La entropía es una medida de organización, mejor dicho, de “desorganización” donde el máximo grado de *entropía* equivale al mayor grado de desorden o lo que es lo mismo, sin estructura. Un valor alto de entropía expresa irregularidad, lo que espacialmente puede implicar que la acción se pueda localizar en cualquier localización (I. Prigogine, 1997).

En un sistema con baja entropía espacial *se tenderá a* la regularidad y a la presencia de relaciones que se estructuran el espacio. Por lo tanto, las localizaciones de las acciones son potencialmente determinables. En los sistemas de alta entropía espacial *se tiende a* la irregularidad, lo que implica que la localización de las acciones no se puede determinar. Dado que el problema a resolver es *¿por qué pasó allí?*, si un proceso puede *tener lugar* en cualquier localización, será imposible diferenciar lo que se localice en un lugar de lo que se localice en otro.

La implicación principal de lo anterior, es que los procesos espaciales responsables de la formación, organización y conservación del *conjunto arqueológico* percibido en la excavación, deben verse desde una perspectiva sistémica, teniendo que buscarse las *trayectorias* espacio-temporales de los observables arqueológicos, más que los propios objetos materiales.

La búsqueda y la comprensión de las *trayectorias* de los *observables arqueológicos* deben partir de la consideración matemática de la agregación de múltiples elementos individuales que interactúan en/sobre distintos agentes causales que han modificado su localización. (En otros términos, reconocer el considerable potencial de variabilidad en la localización final resultante de los efectos materiales de determinadas acciones de trabajo). En definitiva, se debe orientar todo el proceso de investigación espacial hacia la mapeación o el diseño de la función espacial de la *localización* más probable de la *acción*, en base a la trayectoria de los efectos materiales de la misma.

La clave para resolver el problema espacial no estará, por tanto, en una simple inversión del proceso de formación del conjunto arqueológico, sino en la modelización estadística del complejo sistema de procesos y determinaciones, que permitan establecer (con un determinado grado de confianza) la función de distribución espacial de una acción en base a la “trayectoria” de la fracción de restos observados de dicha acción.

2.4. La estadística como vía de análisis de la *variabilidad espacial arqueológica*.

El punto de partida en el análisis de la variabilidad espacial arqueológica se centra en que no existe una relación unívoca entre la acción social y la distribución espacial de sus efectos materiales. De tal modo que toda función espacial que pueda caracterizar a la distribución de los observables arqueológicos deberá tener naturaleza probabilística.

Estadísticamente, una entidad, una acción,... no tiene «probabilidad» en el mismo sentido que pueda tenerlo, por ejemplo, la temperatura, color,... sino que se tenderá a una determinada probabilidad, en tanto que sus estados, es decir, los valores concretos de las propiedades, que las definen, *varíen* y estén determinadas funcionalmente.

En arqueología se debe asumir que las diferentes entidades sociales y naturales (causantes de los efectos materiales percibidos en la actividad arqueológica) no tienen una posición puntual y definitoria, ni tampoco, por ende, un impulso fijo, sino una dispersión: varios valores posibles (probables), según las modalidades de la acción, y las características del contexto y circunstancias, en las que se produce la acción o acciones. Por consiguiente, una misma situación o estado puede ser sucedido de forma impredecible por un gran número de estados diferentes, con un determinado *potencial de interacción* o probabilidad de ser producidos, en unas condiciones determinadas.

A través del cálculo de tales probabilidades de transición, se deduce que:

- i. Las transiciones no son arbitrarias ni salen de la nada, sino que surgen de estados definidos bajo la acción de fuerzas también definidas.
- ii. Las transiciones no son necesarias en el sentido de que el estado 2 no emerge de modo regular e inequívoco del estado 1. Sólo hay una cierta probabilidad de que se produzca entre muchas otras transiciones posibles.

La probabilidad de *estar en un lugar* no es resultado de la *incertidumbre* o de los errores de medida, sino **de la dinámica propia a la entidad y su interacción con el entorno**. Así que, el efecto material de una acción tiene una *probabilidad* (P) de que en circunstancias C aparezca la localización L, que no cambiará en el lapso de tiempo T.

En cierto sentido, es una medida de la intensidad de tendencia o inclinación que tienen ciertos estados o sucesos a presentarse (Popper 1962, 1967, Eells 1991).

Una causa X puede producir un efecto Y , incluso si X causa factores que impiden Y o que impiden factores que causan Y (Eells 1991), es decir, en toda relación causal se debe tener en consideración circunstancias con relevancia negativa.

De este modo, se tendrán *causas que contribuyen* y *causas inhibitorias* (Hirschberg & Humphreys 1982, Eells 1991). Aparece, entonces, un esquema de *regularidad*, al contrastarse que determinados estados, en determinadas circunstancias y ante la acción de determinados elementos, son más *probables* que otros. Esto implica que la capacidad causal del *proceso especial* no puede determinarse a partir de la simple observación de la distribución espacial que lo ha generado.

En el análisis de la variabilidad espacial arqueológica, se deberá observar bajo **condiciones controladas**, distintas realizaciones del proceso especial para poder observar con qué frecuencia se genera una u otra distribución espacial en función de las circunstancias propias del *espacio*, del tipo de acción localizada y de la relación de esa acción con otras acciones espacialmente localizadas (Barceló & Maximiano 2007).

Los procesos de formación del *registro arqueológico* suelen estar asociados a multitud de acciones relacionadas, que son realizadas en una serie limitada de localizaciones. Esto justifica que la distribución espacial observada pueda llegar a ser muy compleja y en ocasiones, difícilmente dependiente a un único factor causal.

Pero existe una cierta probabilidad de que en un determinado contexto de acciones, algunas tendencias sean más probables que otras, en otras palabras, los cambios espacio-temporales de la probabilidad con la que tuvo lugar cierta acción social, determinan los cambios de la probabilidad con que sus efectos materiales aparezcan en una localización y no en otra. La consecuencia de lo anterior se centra en que se puede expresar diferentes tipos de procesos espaciales en términos de sus *esperanzas matemáticas*, que estarán en función de:

- a. Tipo de registro material (cualitativa y cuantitativamente considerados), y
- b. El conocimiento de las acciones (sociales y naturales), causantes de los efectos materiales percibidos.

Según lo anterior, un proceso espacial puede definirse, entonces, en términos de una función de probabilidad entre la acción y una distribución espacial de los efectos que puedan caracterizar a la acción o conjunto de acciones.

Así que, se podrá asumir que la probabilidad de que una acción ocurra en una localización específica, deberá relacionarse a la frecuencia de sus efectos materiales (fracción material compilada en el registro arqueológico) en las localizaciones próximas. Por tanto, cuando la frecuencia de determinados efectos arqueológicos se vean incrementados en un conjunto determinado de localizaciones, entonces, la función de probabilidad de una determinada acción social, que hubiera sido realizada en su vecindad, convergerá con la frecuencia relativa en las localizaciones adyacentes.

Entonces, si se asume que la *densidad espacial* de los efectos materiales de la acción social está probabilísticamente relacionada con la acción que los causó y con la ubicación de dicha acción en el *espacio físico*, se puede decir que la región del espacio donde existe *mayor continuidad* entre los valores de densidad espacial es el lugar más probable en donde una determinada acción social haya sido realizada. Esto puede ser computado fácilmente, estimando la función espacial de densidad de la probabilidad asociada a cada una de las localizaciones de restos arqueológicos, que se encuentran asociados a un tipo u otro de acción social²⁹.

Ahora bien, la afirmación anterior está sujeta a una condición/premisa: Conocer la relación *entre* la acción social y su descriptor arqueológico más probable. De este modo, la función de la probabilidad de densidad para la localización de artefactos arqueológicos, puede ser un buen descriptor de la variabilidad espacial de la acción social. Por ejemplo, sea una muestra de las localizaciones conocidas de un determinado evento, se sugiere que la función de la densidad de dicha población es el punto de partida en la caracterización espacial de dicha distribución, que mostrará tendencia hacia algún tipo de *patrón espacial* por lo que la misma función de densidad implicaría aproximarse al modo espacial de la distribución, pero no a la interpretación causal, que se encuentra en la determinación de la materialidad espacialmente distribuida, que consiste en atribuir/reconocer un conjunto de acciones causales a dicha materialidad.

²⁹ Este argumento se desarrolla de manera más exhaustiva en el capítulo 3 inspirado en el trabajo de Zavala, M. A. et al (2006) Revista Ecosistemas. Año XV, n° 3

Sólo contando con esa información (no espacial) se podrá entender completamente la variación espacial de la población.

Las localizaciones son generalmente definidas de manera bi-dimensional, pudiendo calcular una *superficie interpolada* que representa la forma de la distribución de la densidad de probabilidad *al azar* o con otro tipo de *sesgo* (agregación, uniformidad,...). Este caso se puede generalizar también al caso multidimensional (Wackernagel 2003). Una superficie interpolada es, de hecho, un *mapa probabilística*. El modelo es, simplemente, una representación matemática de una superficie polinómica que demuestra la tendencia en los datos y una cierta incertidumbre, asociados al proceso espacial responsable de las características de esa superficie particular.

La consecuencia principal de este tipo de *mapas* se basa en que la relación entre entidades estará en función de la distancia que exista (ley de Tobler) entre ellas. Ahora bien, para poder deducir la *causa* (acción social realizada en el nivel de la casa) del *efecto* espacialmente distribuido (la frecuencia de las evidencias materiales medidas en un cierto sistema finito de localizaciones), se deberá reconstruir la frecuencia verdadera que fue generada en el pasado por la acción social. Para ello, se usa un enfoque *geoestadístico* desde el cual se asume la presencia de procesos estocásticos y la inferencia estadística a la hora de aproximarse a las localizaciones espaciales. La *Geoestadística* cuenta con un conjunto de métodos descriptivos usados para detallar las relaciones espaciales entre datos de la muestra y la aplicación de una serie de herramientas analíticas para la predicción de fenómenos espaciales y temporales (Bailey y Gattrell 1995, Fotheringham et al. 2000, Haining 2003, Lloyd y Atkinson 2004).

El *proceso espacial*, que causó las frecuencias espaciales observadas, es prácticamente imposible de definir exclusivamente a través de una sola ecuación. Esto se debe a que la *tendencia espacial* contiene tanto el proceso que generó la superficie original de las frecuencias, como a todos los procesos post-depositacionales que alteraron los valores originales. Aún así, se puede formular una función ideal acerca de cómo sería un proceso espacial en base a la agregación del un elemento determinista (tendencia espacial) con una variación estocástica:

$$Z = \underbrace{\alpha x^2 + \beta y^2 + \delta xy + \phi x + \rho y}_{\text{Tendencia espacial}} + \underbrace{f}_{\text{Variación estocástica}}$$

Esta función se puede representar a través de algún tipo de algoritmo que generen superficies de interpolación. La mayoría de ellos permiten diferenciar el *componente estocástico* de la *tendencia espacial*, entendiendo a dicha *componente* como un elemento residual de la superficie interpolada. Eso significa que no se puede esperar la caracterización completa del proceso, pero se puede investigar algunas de las características que representen aspectos importantes o estadísticamente significativos, sobre las distribuciones observadas. En estos casos, muchos aspectos de las *tendencias espaciales* se pueden caracterizar en términos de las características de la distribución en tanto al análisis de *primer* y *segundo orden*.

Por tanto, las características de *primer orden* describen el modo por la cual la frecuencia de consecuencias materiales de la acción social varía a través de espacio, o en otros términos, **el número de puntos por unidad de área en cualquier localidad**. En el análisis de *primer orden*, las frecuencias de los efectos materiales de las acciones variarán de la localización (x,y) a la localización $(x+1, y+1)$ debido a los **cambios en las circunstancias locales en las que se realizó la acción**. Por ejemplo, las frecuencias de artefactos arqueológicos pueden estar determinados por las condiciones microtopográficas y variaciones aparentes del *espacio físico*.

Las características de *segundo orden* describen **la covariación (o la correlación) entre las frecuencias en diversas regiones del espacio investigado, es decir, describe las relaciones entre pares de puntos**, por ejemplo ¿cuál es la probabilidad de encontrar un punto en las inmediaciones de otro? En el análisis del *segundo orden* las frecuencias de datos arqueológicos varían de la localización (x, y) a la localización $(x+1, y+1)$, debido a los **efectos locales de la interacción entre las observaciones**. Por ejemplo, las consecuencias materiales de la acción social tienen tendencia a suceder en las áreas donde se ha realizado la acción social.

A continuación, se sintetizan tres subapartados donde se trata de definir, a *grosso modo*, el análisis de la variabilidad espacial de poblaciones evitando entrar en un discurso eminentemente matemático, ya que este se realizará en el capítulo 3.

2.4.1. Aproximación al análisis de *Primer orden*

En el análisis de *primer orden*, se pretende caracterizar la *intensidad del proceso espacial*, es decir, determinar el **número de acontecimientos por área muestral** (Diggle 1983). Para ello, se realiza una estadística descriptiva acerca de la variabilidad espacial objeto de estudio. Lo ideal es hacer dicha descripción en base al criterio de las distancias (coordenados) y al de las frecuencias (densidad) con diferente tamaño de la unidad muestral.

Al tener la descripción de la población y la estimación de la intensidad de la misma (número de acontecimientos por unidad muestral), se puede plantear la probabilidad espacial de esa población, es decir, conocer el número esperado de sucesos por unidad muestral según un tipo u otro de proceso espacial.

Para realizar esto es necesario comparar la población empírica con otras teóricas y de ese modo se podrá estimar el tipo de proceso espacial al que la distribución observada se encuentre más ajustada.

Para ello, se parte de la hipótesis nula (H_0) que suele asociarse al patrón espacial con tendencia a la *aleatoriedad*, que se asocia a la noción de desorden en el espacio. Pero... ¿qué se entiende por *orden*?, es decir ¿cuándo una población de datos espacialmente distribuida está ordenada?, o por el contrario, ¿qué es lo que la caracteriza como espacialmente desordenada?

Si se asume la intensidad de un proceso espacial en términos de “probabilidad”, entonces, una distribución espacialmente ordenada es aquella en la que sólo unas pocas localizaciones son probables, mientras que en una serie espacialmente desordenada, la consecuencia material de la acción puede aparecer en cualquier lugar del espacio físico.

La *entropía* de una distribución espacial puede ser una medida del grado de “orden” que exista en una región del espacio y por tanto, con la mayor o menor probabilidad en la localización de un acontecimiento en cierta localización dada.

Si se parte del supuesto por el cual una partición de tamaño N de un espacio de probabilidad, donde cada suceso de la partición tiene probabilidad W_i , de ocurrir, entonces, la entropía se define como:

$$S = - \sum_{i=1}^N W_i \ln W_i$$

Siendo la *entropía* el valor medio de lo inesperable, permite caracterizar el grado de indeterminación o aleatorización que acontece a un determinado evento. Así que, cuanto mayor sea la probabilidad de ocurrencia de un suceso (grado de certeza), la entropía tenderá a cero (siendo una marca de regularidad espacial). Por el contrario, si la probabilidad de ocurrencia es nula, entonces, la entropía, será alta (define la aleatorización de la población estudiada).

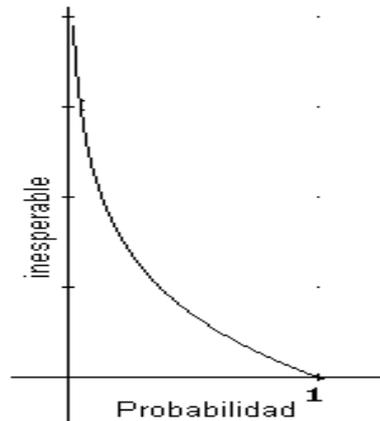


Figura 13: La entropía como función inversa en la relación entre probabilidad y grado de esperanza en la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Desde el punto de vista topológico se puede definir la *entropía espacial* como:

$$h^{(x)}(X) = \frac{1}{X} \log_{\kappa} \left(\sum_{j=1}^{\kappa^X} \theta(p_j^{(x)}) \right)$$

Donde el superíndice (x) indica que se trata de secuencias espaciales, donde el tamaño de las secuencias es de X , p_i es la probabilidad de que ocurra la secuencia en turno y $\theta(p)$ es una función $\theta : [0, 1] \rightarrow \{0, 1\}$ definida como:

$$\theta(p) = 0, \text{ si } p = 0$$

$$\theta(p) = 1, \text{ en otro caso}$$

Esta función $\theta(p)$ cuenta el orden exponencial de todas las secuencias que es posible que ocurran. A esta *entropía espacial* de conjunto, también, se le conoce como *entropía topológica* y va acompañada de una medida de entropía, que se conoce como métrica para la entropía y se define:

$$h_{\mu}^{(x)}(X) = -\frac{1}{X} \sum_{j=1}^{K^x} p_j^{(x)} \log_k p_j^{(x)}$$

Para ilustrar el modo de operar de esta medida de entropía, se toman bloques (K^x) de tamaño igual a 4 y se sustituyen los valores correspondientes en las ecuaciones anteriores. La *entropía espacial* de un sistema es lo que se observa, como promedio, del orden exponencial de las ocurrencias de bloques de longitud x .

En el caso de la medida de entropía, lo observado es el **promedio de la razón exponencial** de que un bloque de longitud fija x que aparezca en cualquier parte de la evolución de un sistema espacial en un tiempo fijo t .

Se tiene presente que el máximo valor de *entropía* se alcanza cuando todos los posibles K^x bloques de longitud x tienen igual probabilidad de ocurrir. Por consiguiente, el máximo valor de entropía es 1, con lo se expresaría la condición de máxima aleatoriedad espacial de la distribución.

Todos estos principios que rigen la *entropía espacial* son aplicables bajo determinadas condiciones empíricas y teóricas. El diseño de estos test de *entropía espacial* son implementados en ciencias experimentales y no pueden ser trasladados a los casos de variabilidad espacial arqueológica sin tener en cuenta una serie de consideraciones, principalmente dos:

- i. **En condiciones de elevado desorden espacial, el problema de la variabilidad espacial arqueológica no tendrá respuesta**, ya que en caso de alta entropía, existe una probabilidad muy parecida de que cualquier *cosa* esté en cualquier *lugar* del espacio muestreado (distribución espacial aleatoria), lo que implica que sólo **si la distribución tiene baja entropía, es decir, está suficientemente ordenada, se podría llegar a averiguar por qué ciertos elementos observables aparecen allí donde han aparecido.**

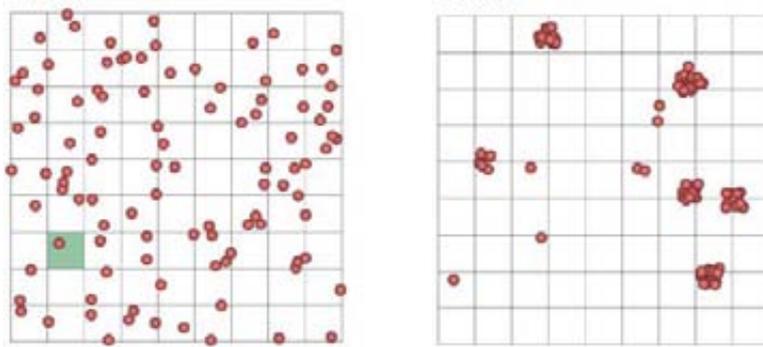


Figura 14: Representación de una población aleatoriamente distribuida y otra regularmente distribuida (con clara tendencia a la agregación concentrada) En el primer caso, no existe posibilidad de ir más allá de la afirmación (test) del desorden espacial, mientras que en el caso de la derecha sí existe posibilidad de investigar la estructura espacial percibida.

Se tiene en cuenta la posibilidad de disminuir la *entropía* de una colección arqueológica en base a criterios de selección objetiva de las categorías. Por ejemplo si la *entropía* de todas las evidencias arqueológicas de un yacimiento es muy alta, se puede reducir mediante la selección de horizontes cronológicos homogéneos o a través de la selección de evidencias materiales con una serie de características comunes (morfometría, composición química, proceso de trabajo que la originó...).

- ii. La relación que pueda existir entre *entropía* alta y aleatoriedad espacial no será el único contraste a realizar, ya que existe una relación más contundente: **situaciones de baja entropía implicarán orden espacial de la población objeto de estudio**, ya que en casos arqueológicos se puede producir el fenómeno de *agregación espacial* de diferentes poblaciones en las mismas localizaciones, lo que generaría un patrón espacial distorsionado de tipo aleatorio (alta entropía). Pero esa *agregación*, no es garantía de aleatoriedad entre las diferentes poblaciones, sino que distorsiona los distintos procesos espaciales acontecidos en esas recurrentes localizaciones. **La condición de orden y baja entropía permite tener una evaluación más fiable sobre la probabilidad acerca del número esperado de puntos por unidad muestral entre la población empírica y el modelo teórico de contraste.** De tal modo que si el test refleja esa relación espacial (orden y baja entropía), la distribución observada puede llegar a ser interpretada, cosa que no se

puede garantizar en el caso en el que el test diera alta *entropía* (o aleatoriedad espacial de la población), ya que aquella puede ser resultado de la agregación de diferentes poblaciones.

2.4.2. Aproximación al análisis de *Segundo orden*

Este tipo de análisis permite **estimar la forma de la variación de cualquier variable regional sobre el área investigada a una o varias escalas seleccionadas y con un nivel de detalle, que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio.** Para ello, se realizará una serie analítica dirigida a investigar la *relación* entre la diferencia en la *frecuencia* de las características observadas en determinados puntos del espacio (adyacentes entre sí) y la *distancia* euclídea (en el caso tridimensional) o la distancias Minkowskianas (en el caso multidimensional) que separa a dichas observaciones. El supuesto ideal contempla la realización del análisis tanto a través del criterio de las distancias (*coordenados*) y el de las frecuencias (*campo escalar*) con diferente tamaño de la unidad muestral.

Tradicionalmente, la necesidad de cuantificar estadísticamente el **grado** y la **escala espacial** en que cambian las poblaciones existentes en una determinada región, no era una cuestión prioritaria, entre otras cosas, porque esa *heterogeneidad* era percibida visualmente y por ello, era espacialmente predecible. Sin embargo, desde determinados problemas espaciales en Geología e Ingeniería de minas en la segunda mitad del siglo XX, surgió la necesidad de desarrollar herramientas estadísticas que cuantificaran el grado y escala de la variación espacial sobre determinados recursos mineros, que no se podían percibir visualmente pero cuyo *patrón espacial* era necesario conocer para incrementar la eficiencia en la explotación de dichos recursos. Este marco es donde cobra fuerza la cuantificación de la *heterogeneidad espacial* de variables, que no son fácilmente perceptibles, en base al modo en el que se encuentran correlacionadas espacialmente.

Esta relación espacial es clave para explicar procesos producidos en una determinada región, a diferentes escalas espacio-temporales. El análisis de *segundo orden* pretende:

- i. Conocer la *covariación* (o la correlación) entre las frecuencias en diversas regiones del espacio muestreado.
- ii. Entender las interacciones entre la variabilidad espacial de diferentes poblaciones y sus condicionantes, expresados mediante algún tipo de relación.

De este modo cobra sentido la dinámica de **atracción/repulsión espacial** en base a circunstancias de *competencia, coexistencia, sublimación, complementariedad, independencia,...* El análisis de la variabilidad espacial utiliza *funciones* para modelar la variación de las variables en determinadas regiones, que son utilizadas posteriormente para *interpolarse* en el espacio el valor de la variable para sitios/localizaciones que no han podido ser muestreadas. La utilidad del análisis de *segundo orden* permite responder a preguntas como:

¿A qué *escala* se repite este *patrón espacial*?

¿Existe *covariación espacial* entre las distintas variables de interés?

¿Cuál es la mejor *representación gráfica* de la continuidad de la variable?

¿Cuál es el grado de *incertidumbre* de la estimación?

Las características básicas para poder definir un *proceso espacial* desde un análisis de segundo orden, se sintetizan en:

1. *Autocorrelación espacial*, se refiere a la relación entre la intensidad del proceso espacial en cada una de las localizaciones y la distancia entre esas localizaciones. Una autocorrelación espacial *positiva*, implica que en localizaciones próximas el *proceso espacial* tiene una intensidad parecida, lo que implica que los valores de la variable en una localización dependen de los valores de la misma en localizaciones vecinas. En el caso arqueológico, la cantidad de efectos materiales de una misma acción debería tender a la semejanza en puntos muy próximos y debería ser distinto entre puntos alejados. Así que, cuanto más próximos al lugar donde se realizó la acción, mayores y más parecidas entre sí serán las frecuencias de efectos materiales y cuanto más alejados, menores y más diversas. Aunque esto sólo se da en aquellos casos en los que la distribución espacial de los efectos no es

intencional en sí misma (por ejemplo no hay acumulación de basuras), sino mero resultado concomitante a la ejecución de la acción. En el caso de una autocorrelación espacial *negativa*, la relación entre la distancia y las frecuencias observadas es inversa, es decir, cuanto mayor es la distancia entre los puntos, más se parecen entre sí. Realmente, esto puede ocurrir en caso de frecuencias de aparición muy bajas y constantes, en cuyo las que localizaciones muy distantes tendrán siempre la misma cantidad de efectos materiales de la acción. Es preciso averiguar entonces, si la acción que generó las frecuencias observadas es en realidad la misma acción o se están agregando consecuencias espaciales de distintas acciones. Finalmente, cuando la *autocorrelación es cero*, las frecuencias de las consecuencias materiales de una misma acción son muy irregulares en distintas localizaciones.

2. *Estacionariedad*, se refiere a que la *varianza* debe ser igual en las diferentes zonas del área de estudio o lo que es lo mismo, que el proceso sea invariante a la traslación. La falta de estacionariedad puede deberse (dos de los casos más comunes), bien a la existencia de anomalías en las regiones del espacio muestral o bien a la existencia de una tendencia o gradiente espacial, cuya dimensión es mayor que el área de estudio. La estacionariedad puede ser un problema a la hora de interpolar puntos en el espacio, pero no justifica el abandono de la Geostatística a favor de otras técnicas de interpolación (como la técnica del inverso de la distancia), ya que son igualmente sensibles a la falta de estacionariedad (Isaaks y Srivastava, 1989). Algunas anomalías del espacio muestreado pueden ser la presencia de dos o más poblaciones, atribuyéndoles un mismo comportamiento a ambas. En otros casos, la estacionariedad está provocada por una tendencia espacial más que por la existencia de dos o más poblaciones. Hay que tener en cuenta que una tendencia espacial puede enmascarar la heterogeneidad local del área de estudio. Si se conoce el origen de esta tendencia (por ejemplo una fuerte pendiente o un gradiente de inundación) se puede modelizar (tendencia externa) y sustraerla de los datos espaciales.
3. *Isotropía*, esta característica determina si el proceso espacial cambia según sea la dirección en la que se analicen los datos. Si el proceso espacial es

isotrópico, la dirección en la que se realice el análisis no es un factor que condicione a la forma espacial de la distribución y por ende, al proceso espacial que la caracteriza. Si por el contrario, se documenta anisotropía, *aquella* será un indicador potencial de una serie de circunstancias que condicionan la forma de la distribución, lo que permite “intuir” la interacción entre diferentes procesos espaciales, fruto de diferentes acciones sociales, que se atraen o repelen o elementos estructurales (espacio construido), que condicionan el límite de la distribución hacia una serie de direcciones.

2.4.3. Una aproximación a los Límites de los procesos espaciales

Paralelamente a la caracterización estadística del *proceso espacial* en base a la serie analítica de *primer* y *segundo orden*, es necesario definir los límites del proceso espacial. La idea principal se centra en que las *discontinuidades* o *límites en las probabilidades espaciales* de una acción social, coinciden a menudo con los límites percibidos en el proceso causal que modifica el *espacio físico*.

Establecer la determinación de la discontinuidad es, esencialmente, la percepción de los cambios localmente significativos entre valores espacial muestreados de algunas características físicas para un conjunto de localizaciones.

De manera intuitiva, una *discontinuidad* o frontera es una *estructura espacial* y por tanto, puede registrar en su forma procesos pasados subyacentes implicados en su creación (Margalef, 1991). La caracterización del *patrón espacial* permite inferir, con cierto grado de incertidumbre, los procesos que lo generaron (teniendo en cuenta que un mismo patrón puede ser el producto de procesos diversos). Sin duda, la tendencia del fenómeno espacial revertirá en el tipo de discontinuidad (frontera), que lo caracterice en cada una de las poblaciones espacialmente distribuidas.

Así que, existirán diferentes tipos de límites o fronteras, determinados por las condiciones previas y por el proceso espacial implícito, lo que producirán límites diversos, como son: lineales, bruscos y bien conectados (bordes), límites zonales de transición paulatina, en los que las frecuencias de aparición de restos de la población espacialmente distribuida se van alejando del centro geográfico de la acción/acciones...etc.

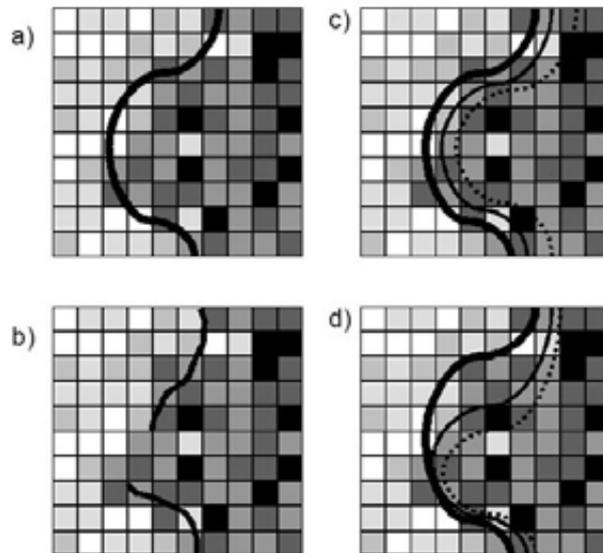


Figura 15: Tomado de: J. J. Camarero, M.J. Fortín (2006) “*Detección cuantitativa de fronteras ecológicas y ecotonos*” El área de estudio muestra un gradiente de tonos grises que corresponde a la escala de valores cuantitativos de la variable de estudio. Sobre el mismo caso, se plantean diferentes tipos de discontinuidad que dependerá del tipo de proceso espacial que caracterice a la distribución. De tal manera que pueden existir los siguientes tipos de límites: a) Lineal brusca (nítida, estrecha) y contigua (conectada). b) Lineal brusca (nítida, estrecha) pero desconectada (abierta). c) Zonal de transición gradual, de anchura constante y contigua (conectada). d) Zonal de transición gradual pero de anchura variable y contigua (conectada).

Formalmente, la *discontinuidad* se define como el límite observable en la primera derivada de la función matemática que describe las frecuencias sobre la porción de espacio objeto de estudio. Se calcula a través del *gradiente espacial* del conjunto de datos³⁰, que describe la modificación de la densidad y el tamaño de los valores medidos, caracterizando el modo en que la población varía espacialmente en/sobre un conjunto determinado de localizaciones.

En ocasiones, no será necesaria una caracterización matemática del límite, ya que este está definido cualitativamente y es observable. Estos casos son los menos comunes en la práctica arqueológica sobre determinados casos, ya que esos límites estructurales (hoyos de postes, muros de tapial,...) se han difuminado debido a que diferentes tipos de acciones (sociales y naturales) han actuado sobre ellos, resultado de borrar o difuminar efectos previos.

³⁰El gradiente espacial se entiende como la dirección del índice del cambio máximo del tamaño percibido de los valores dependientes, y de una medida escalar de ese cambio (Sonka et al. 1994, Palmer 1999)

Por tanto, la circunstancia general al excavar determinados sitios arqueológicos³¹, es que tan sólo se puede contar con la presencia de diferentes tipos de distribuciones de restos (tanto en su *calidad* como en su *patrón espacial*) y sólo en algunas ocasiones, se puede contar con otro tipo de entidades como puedan ser: termoalteraciones, partes de muros, hoyos de poste,... Siendo esta la realidad arqueo-gráfica, un conjunto extensos de restos ubicados en una porción de superficie (volumen) bajo una determinada *modalidad espacial*, donde la arqueología, con sus medios de análisis e interpretación, y con el apoyo de una serie de técnicas que investigan la variabilidad espacial, intente alcanzar una interpretación con suficiente rigor científico acerca de la fracción material de los efectos de un conjunto extenso de acciones localizadas en un área determinada.

³¹ Sobre todo referido a casos asociados a la dinámica de grupos itinerantes de cazadores recolectores. Aunque existe la posibilidad de referirse a otros casos donde la dinámica social es muy diferente, pero su registro arqueo-gráfico carece de la posibilidad de percibir determinados elementos estructurales que actúen a modo de límites

2.5. La resolución del problema espacial arqueológico

En los apartados anteriores se han expuesto determinadas circunstancias y posibles vías a la hora de tratar la problemática espacial arqueológica. En este apartado, se desarrolla un nuevo enfoque para intentar dar solución al problema planteado.

Para ello, se parte de la premisa, por la cual la investigación arqueológica se enfrenta a un tipo concreto de *sujeto de estudio*, al que diferentes escuelas han dado distintos *significantes*, originando que la interpretación sobre un mismo fenómeno arqueográfico pueda ser tanto o más diferente según el marco teórico que lo sustente.

No ajenos a esta tendencia, se encuentran los problemas de variabilidad espacial de restos arqueológicos, de tal modo que en función del paradigma desde donde se plantea la investigación espacial, los resultados se interpretarán de una manera u otra.

El principal escollo que se encuentra en el análisis de la variabilidad espacial arqueológica, no es tanto la coyuntura en cuanto al tipo de vía analítica (cuantitativa/no cuantitativa) o al tipo de corriente teórica (funcionalismo, ecología cultural, marxismo,...), sino la presencia de una **grave contradicción estructural**, en la que indistintamente al paradigma implementado en la resolución del problema espacial, existe un error de base en tanto a la consideración del problema arqueológico como algo eminentemente particularista, determinístico y en el que la evidencia material aislada (el *objeto arqueográfico*) es el estricto ámbito del problema y a su vez la solución.

Así que, cuando se excava se pretende encontrar series extensas de objetos materiales y sobretodo, se procura evitar la presencia de “vacíos” (la no presencia de objetos), ya que es curioso que en casi toda intervención arqueológica parece que siempre se encuentra el centro de la “unidad doméstica”, “los enclaves donde se realizaban diferentes tipos de trabajo”, “los espacios erigidos para las prácticas de múltiples rituales”,... En definitiva, un sin fin de **ubicaciones constituidas en pos a la materialidad del objeto arqueográfico**. Se pretende el desarrollo de una investigación fundamentada en una extensa descripción y una pseudo interpretación en base a ese enorme volumen de restos arqueográficos.

Actualmente, se pueden incluir dos tendencias que se están aplicando en los últimos años:

- Desmesurado consumo de tecnologías, en casos donde ni tan siquiera existe ni enunciado del problema, ni un ámbito de solución, cuyo resultado es una mera salida gráfica de mayor calidad e impacto visual.
- El intento poco exitoso de la incorporación de técnicas de investigación que proceden de otras ciencias, cuyo rendimiento es mínimo debido al enfoque erróneo de la aplicación de dichas técnicas sobre la problemática arqueo-lógica.

La resolución del problema espacial debe partir de la siguiente consideración:

Si las *localizaciones* posibles de los efectos materiales generados por una acción se pueden tratar como puntos de una determinada región, se configurará un *sistema espacial* que tendrá un gran número de estados posibles, dependiendo de las características de esos puntos, que mostrará unas determinadas *tendencias*.

El sistema puede aparecer en un número finito de estados, dependiendo de la cantidad de efectos materiales conservados, observables y localizados dentro del área en donde se encuentran esos efectos como resultado de la acción/es. A lo largo del tiempo, el sistema fluirá a través de una **secuencia de estados**, que determinan las **tendencias** o trayectorias más probables.

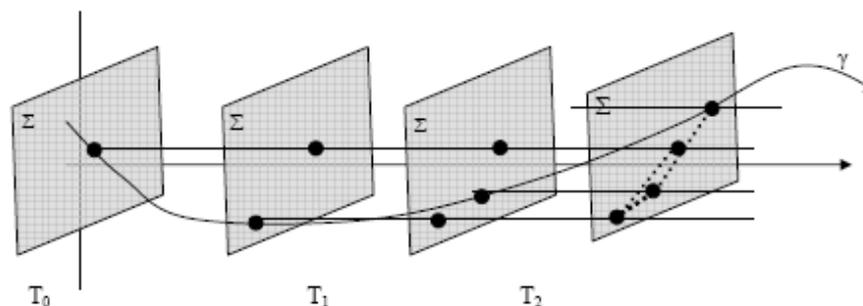


Figura 16: Esquema de una sucesión de estados, los cuales constituyen una tendencia o trayectoria (γ) de un sistema dado (ξ) a lo largo del tiempo (T_0, T_1, \dots, T_n).

Como *consecuencia* de lo anterior:

Todas y cada una de las actividades localizadas en el *espacio arqueológico* desarrollan en su entorno una compleja red de relaciones que se pueden definir desde la *dinámica de atracción y de repulsión*.

Dentro de dicha *dinámica* debe existir algún tipo de relación estadísticamente significativa de la variación espacial que sirva de evidencia material a la acción causal. Por otra parte, las actividades localizadas alrededor ejercen otro tipo de influencias a través de distintos canales de interacción (Camagni 1992), lo cual se refleja a su vez en la forma y magnitud de la *dinámica de atracción/repulsión*. Por consiguiente:

La *probabilidad* de que una acción *a* tenga lugar en determinada localización *l* se relaciona con la ocurrencia de sus efectos materiales alrededor de *l*, pero también, con la ocurrencia de los efectos materiales de las acciones sociales, que explican por que la acción *a* tuvo lugar en *l* y no en otro lugar.

Por tanto, el problema se centra en cómo las diferencias en la localización de los efectos de la acción *a* están determinadas o condicionadas por las diferencias en la localización de los efectos de la acción *b*, *c*, *d*, etc., así como, de las diferencias temporales entre los distintos momentos en que *a*, *b*, *c*, *d*,... tuvieron lugar. La *dinámica de atracción/repulsión* es una *dinámica espacial* ampliamente contrastada en el ámbito de las ciencias experimentales y que también, se puede contrastar bastante bien en las ciencias sociales tales como la geografía.

En base a lo anterior, para poder entender la formación y las consecuencias de las fuerzas de *atracción y repulsión* entre acciones sociales, se establece una vía analógica con el concepto de *campo escalar*³², de la misma manera que la analogía con las leyes físicas de gravitación para comprender la interacción espacial a diferentes escalas (Haynes & Fotheringham 1984, Nijkamp y Reggiani 1992).

Por consiguiente, la manera en la que una acción influye en otra podrá ser investigada en términos de la *correlación* entre sus respectivas distribuciones espaciales.

³² El concepto de campo escalar procede de las ciencias naturales y físicas, dado que en ellas es habitual tratar con regiones de espacios abstractos (conjuntos) con una función aplicada. Por ejemplo, la función que proporciona la temperatura en cualquier punto de una habitación, es un campo escalar. En el caso arqueológico, la cantidad de huesos de mamífero en cualquier lugar dentro de los límites de cierto espacio construido, es un campo escalar.

Para determinar la dirección de la causalidad (qué acción influye en qué otra) bastará con considerar que una acción social (o evento bio-geológico) influirá en la localización de los probables efectos materiales de otra acción, *si sólo si* la probabilidad de esa localización es mayor en la presencia de dicha acción, que en su ausencia.

Este problema es fácilmente soluble con ayuda del *teorema de Bayes* y de la llamada “*Condición de Markov*” (Pearl 2000; Neapolitan 2003), pudiendo utilizarse campos escalares para representar estas dinámicas de atracción/repulsión, siendo este el nombre que se le da a una función que adoptará intensidades distintas en distintos lugares de un espacio bi-, tri, o n-dimensional (R^2 , R^3 , R^n).

Un campo escalar es un espacio matemático, porque supone un conjunto ordenado de valores escalares, junto con una descripción de la función que los relaciona en términos de una determinada métrica dimensional. En estas condiciones, la distancia ya no es “geográfica” (euclídea), sino una estimación de la diferencia del valor de la propiedad en dos puntos cualesquiera (Gattrell 1983). Un campo escalar en arqueología es un constructo multidimensional, tal como se refleja en la siguiente notación:

$$W_i(x, y, z, t)$$

Cada w_i corresponde a una variable dependiente y puede usarse para expresar tanto variables cuantitativas (la frecuencia de huesos, líticos, cerámica, etc., pero también dureza, porosidad, inclinación, densidad, cohesión, etc.). De este modo, el *espacio arqueológico* ya no se describe en términos de sus componentes definidas subjetivamente (muros, suelos, pozos, piedras,...), sino por una disposición multidimensional de puntos. La definición matemática subyacente de este modelo es un conjunto de campos escalares, que definen la variabilidad espacio temporal de las propiedades arqueológicamente relevantes.

Las tres primeras dimensiones no son tanto los referentes estáticos del espacio euclídeo tradicional (longitud, latitud, altura), sino ejes que se relacionan a la dirección de las fuerzas de atracción/repulsión en un *espacio físico*: hacia la derecha/izquierda, delante/atrás, arriba/abajo. La cuarta dimensión es la temporalidad, que es un modo concreto en la medida de los cambios que se van sucediendo en una misma o en diferentes localizaciones de una determinada fenomenología. Así que, el tiempo es otro referente de lo espacial, cuantificando y/o cualificando la variación espacial en una serie de unidades temporales. Esta representación implica que un modelo espacio-temporal es

una secuencia ordenada (criterio de sucesión temporal) de campos escalares, es decir, cada campo escalar constituye una representación de la variabilidad espacial en un momento en el tiempo.

La comparación de los distintos campos escalares dará la *tendencia* a la hora de interpretar cómo una acción influye en la siguiente. Para ilustrar lo dicho se toma un ejemplo concreto (Barceló 1998) donde se comparan las probabilidades espaciales de unos datos arqueo-zoológicos donde los respectivos campos de atracción para cada una de las tres acciones (depositación de huesos de ovicáprido, depositación de huesos de bóvido, depositación de huesos de cerdo) tienden a coincidir en la región espacial. En este caso, se estaba analizando un pozo en el que las basuras (restos consumidos descartados) se habían acumulado.

La forma física del espacio construido (el pozo) determina la modalidad espacial de las evidencias y por tanto, la propiedad de la acción causal (limpieza, depositación de basura). En este caso, la variabilidad espacial de los restos de bóvidos, ovicapinos y cerdos es la misma porque lo que condiciona y determina esa distribución espacial es una acción anterior: la construcción de un pozo y cómo esta acción *atrae* los resultados de diferentes acciones de descarte y eliminación de restos.

En este caso de estudio, se partió del supuesto por el cual la distancia temporal entre las distintas acciones era nula o muy escasa y donde únicamente, la construcción del pozo se concibe como una acción temporalmente anterior.

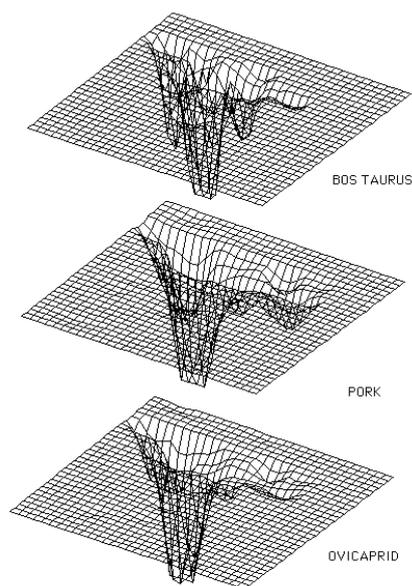


Figura 17: Tomado de Barceló et al (1998). En la imagen se puede ver las depositación de huesos de ovicáprido, bóvido y cerdo en el interior de una estructura: pozo de basuras, donde la acción es la gestión de residuos de consumo.

Otro ejemplo interesante es el que plantea J. A. Barceló (Barceló 1998) en un caso donde la variable temporal es significativamente mayor al ejemplo del pozo de basuras. En este caso, la distancia temporal entre la localización de unas tumbas y otras es mucho mayor, alrededor de unos 100 años. Dado que se supone que una acción ritual funeraria es la causa de la ubicación de sus consecuencias materiales (tumbas), se pretende averiguar si esta relación temporal, también existe en lo espacial. Tomando dos fases diferentes de ocupación, se puede contrastar que en la fase posterior (siglos VI-V), el campo de atracción es más profundo que en la fase anterior (siglos VII-VI a.C.), lo que indica que la espacialidad de las tumbas es más rigurosa en la fase tardía, en otros términos: la fuerza de atracción de la acción ritual es mayor en la segunda fase que en la primera, en la que la escasa profundidad y poca discontinuidad del campo de atracción, sugiere una menor intensidad de ese mismo proceso espacial.

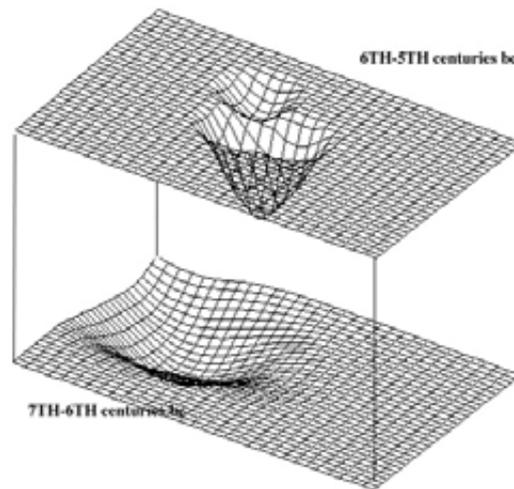


Figura 18: Comparación de los mapas de distribución de la probabilidad en la localización de las tumbas en un fase y otra. Destaca la diferencia en la intensidad de campo (atracción) y el tipo de discontinuidad que presenta cada una de las fases. Mientras que en la fase antigua, la atracción no es muy elevada y su discontinuidad es difusa, en la segunda etapa la atracción es intensa y los límites se encuentran muy marcados.

El concepto de *atracción/repulsión* es una expresión acertada de lo que es una relación espacial. A través del esquema de un *atractor* (o de su inverso: un *repulsor*) se puede reconocer todas las interacciones generadas en su periferia y dirigidas al área de la base del mismo. Según el modelo espacial estándar de la interacción (Nijkamp & Reggiani 1992), la fuerza de la atracción entre dos lugares i y j es proporcional al número de flujos espaciales de un lugar i a otro j e inversamente proporcional, a la distancia entre estos lugares. Esto permite representar la fuerza de la atracción de i hacia j a través del modelo:

$$N_{ij} = \gamma O_i D_j / F_{ij}^2 \quad (1)$$

Generalmente, el número de interacciones se relaciona con el tamaño de la población, así que, cuanto mayor es la población, mayores son las probabilidades a la interacción entre entidades espacialmente localizadas. Por lo tanto:

O_i y D_j representan el tamaño de la población en el origen y el final de la interacción.

F_{ij} es el efecto generalizado en medio i y j de la fricción.

La ecuación (1) da una medida de la intensidad de la interacción que es dependiente de la población y de la distancia geográfica, siendo los flujos de la interacción entre las distintas localizaciones proporcionales a la probabilidad de los contactos entre las entidades (Pumain 1997).

Pero también, es necesario estimar la desigualdad y la direccionalidad de la interacción, es decir, se debe integrar en el modelo la jerarquía entre lo que se determina como centro de la atracción/repulsión y la periferia o radio de acción.

El problema radica en que la ecuación (1) es un modelo estático y no explica porqué el centro adquiere más peso que cada punto individual de la periferia y en qué medida aumenta el flujo direccional (hacia el interior si es un *atractor*, hacia el exterior, si es un *repulsor*).

Según lo anterior, se exponen una serie de consideraciones analíticas, que suponen una propuesta acerca de la estructuración de los contenidos/etapas, en el proceso investigativo de la variabilidad espacial arqueológica:

Observación y Medición: Es el proceso de reconocimiento del *espacio arqueológico*, que sólo será posible a través del análisis de la materialidad de las evidencias arqueológicas. Se debe atender a las *distancias geométricas*, las localizaciones en el *espacio físico*, es decir, la medida física de la desviación entre objetos/entidades materiales, dará una aproximación a la estructura de la discontinuidad espacial arqueológica.

Identificación: Identificar *procesos espaciales* supone establecer las causas de la *variabilidad espacial* observada. Para ello, es esencial asumir que la dinámica de los

cambios en la *topología* y en la *métrica* de un determinado *espacio arqueológico* determina los cambios en las propiedades estadísticas de los objetos arqueológicos (efectos materiales de las acciones) espacialmente distribuidos.

Descripción: Las modalidades espaciales, indistintamente al tipo de acción causal, son tres: Aleatoria, Uniforme y Agregada. Así que, en el caso de las acciones humanas se puede dar la circunstancia en la que una misma acción (producir, consumir,...) presente en un caso concreto una modalidad espacial (p.e. autocorrelacionado con tendencia a la dispersión...) mientras que la misma acción bajo otros parámetros se estructura bajo otro tipo de modalidad (p.e. aleatorio...). Si se consigue establecer la modalidad espacial de la acción a través del proceso de análisis, probablemente, se podrá alcanzar el siguiente punto.

Explicación: En base al análisis del tipo de relación espacial entre *entidades*, se puede proponer una interpretación a cerca de la *espacialidad* de las acciones antrópicas y el modo en el que aquellas se asocian a los procesos naturales que configuran el *espacio físico*, es decir, se pretende entender la *variabilidad espacial* (causalidad de la localización de los efectos materiales de la acción social) en términos de las discontinuidades que dicha variación produce.

- ¿Qué tipo de *proceso espacial* (P_1, P_2, \dots, P_n) causó a las poblaciones espacialmente distribuidas y definidas, en base a criterios de uniformidad compositiva?
- ¿Qué tipo de *acción social* se puede asociar con el *proceso espacial* P de la *población a*?

En función a los puntos anteriores, se podrá establecer un *discurso causal* donde se alcance una caracterización de los procesos espaciales acontecidos en el *espacio arqueológico* muestreado, estableciéndose alguna de las siguientes interpretaciones acerca de los diferentes procesos espaciales documentados:

- a. La localización espacial no muestra causa aparente, ya que supone un *suceso aislado*.

- b. Por la propia naturaleza de la acción, la cual debe ser realizada en una determinada *localización* espacio-temporal.
- c. Por la influencia de otra acción que condiciona la localización de la primera.

Estos tres principios (a grosso modo) permiten entender mejor la dinámica de los *procesos espaciales*, que caracterizan a la distribución de los efectos percibidos. Así que, se puede determinar que:

- Una *acción fortuita* se localizaría (de manera hipotética) aisladamente en una región espacio-temporal determinada.
- Una *acción recurrente*, se pueda encontrar localizada de manera frecuente en una misma porción espacio-temporal, bajo un tipo de *proceso espacial*.

Se parte de que la acción social, es decir, lo que el *trabajo humano* produce, en primer término, es una materialidad, la cual adopta distintas modalidades espaciales en diferentes momentos de su trayectoria histórica. Por ejemplo, la localización de una punta de flecha será distinta en el momento de su manufactura, en el momento de alguno de sus usos concretos o en el momento de su rechazo e incorporación a la basura/desecho. Por lo tanto, la distribución espacial de los restos observados, sólo permitirá reconstruir la última ubicación de esa materialidad, asociada a un tipo de acción concreta, es decir, aquella que, verosímilmente y siguiendo el ejemplo planteado, se produjo como resultado de su manufactura, de su función concreta y/o del rechazo.

Obviamente, lo que se llega a establecer es una caracterización sobre la última de las acciones que generó el patrón espacial observado. Por ejemplo, la localización del conjunto de acciones vinculadas al procesado de una gran pieza de caza, en la que se puede asociar restos de talla para avivar filos cortantes, presencia de determinados huesos, termoalteraciones, presencias de ácidos grasos,... pueden sufrir acciones posteriores como el carroñeo de animales, degradación de huesos debido a un PH elevado, escurrientías que redepositan los restos óseos, procesos de selección y limpieza de partes esqueléticas causada por agentes sociales,... que no sólo modifican la localización de los restos de las acciones originales, sino que además, pueden hacer desaparecer, en ese lugar, la totalidad de esas evidencias primigenias.

Según las circunstancias anteriores, para realizar una interpretación estadística de la variabilidad espacial de las distancias y/o de las frecuencias de restos arqueológicos, se necesitará un marco de referencia, una aproximación al tipo de dinámica social y/o natural para poder establecer un discurso interpretativo acerca de:

- i. Las presencias/ausencias (frecuencias) de una/s determinada/s categoría/s en una determinada/s localización/es.
- ii. Las localizaciones (distancias) de determinadas entidades en unos puntos concretos del espacio muestreado.

La interpretación, ligada a la significancia estadística de la variabilidad espacial, cobra sentido si cuenta con un marco de referencia acerca del tipo de acciones sociales y naturales que con mayor probabilidad fueron realizadas en el *espacio arqueológico* investigado.

Dentro del ámbito descrito anteriormente, la variabilidad espacial de los efectos materiales de acciones sociales y naturales, plantea un primer problema a tratar en donde se debe conocer si la distribución espacial de la población objeto de estudio es o no aleatoria. La significancia estadística de esta prueba es fundamental para todo el proceso de análisis de la variabilidad, ya que con ello se define la línea de análisis a seguir. Así que, con este tipo de perspectiva eminentemente heurística, se desarrolla un programa analítico sobre la variabilidad espacial observada, en función de:

- Descripción de la variabilidad.
- Atribución del patrón espacial.
- Establecer la medida de la autocorrelación espacial.
- Caracterizar, si la hay, la dinámica de *dispersión/atracción*.

Capítulo 3

LA VARIABILIDAD ESPACIAL EN ARQUEOLOGÍA.

Índice General

- 3.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS. TIPOS DE DATOS ESPACIALES Y MODO DE ANALIZAR LA VARIACIÓN:**
 - 3.1.1. La determinación de la estructura: El análisis del patrón de localizaciones.
 - 3.1.2. La medida de la correlación.

- 3.2. ORGANIZACIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL:**
 - 3.2.1. Análisis de la Estructura.
 - 3.2.2. Análisis de la Correlación.

- 3.3. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS ESPACIALMENTE DIFERENCIADAS.**

- 3.4. MODELIZACIÓN ESPACIAL:**
 - 3.4.1. Visualizando la Densidad: El histograma 3D y la Densidad Kernel.
 - 3.4.2. Interpolación espacial.
 - 3.4.3. Modelización de la tasa de cambio: Gradiente espacial.

- 3.5. INTERPRETACIÓN CAUSAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:**
 - 3.5.1. La relación entre Procesos espaciales.
 - 3.5.2. Análisis Espacial Multivariante.

3.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS. TIPOS DE DATOS ESPACIALES Y MODO DE ANALIZAR LA VARIACIÓN.

El análisis espacial en arqueología debería establecer la localización, más probable, en la que las acciones sociales se realizaron (Barceló et al 2004). Por consiguiente, resulta fundamental describir la variabilidad espacial percibida no como un conjunto de “cosas modificadas”, sino en términos de aquellas características o propiedades físicas que definen a un tipo de modificación sobre un conjunto de localizaciones. La consecución de este objetivo no sólo debe partir desde el tipo de problema arqueológico a resolver en base al análisis de la variabilidad espacial, sino que se debe trabajar con un formato de datos adecuado al problema planteado y a la naturaleza del fenómeno investigado. Los formatos de datos espaciales comúnmente usados son:

- a. *Datos geoestadísticos*, referidos a fenómenos espaciales que se distribuyen de manera continua sobre la región objeto de análisis. La meteorología es el ejemplo paradigmático de uso de este tipo de datos (los datos climatológicos se toman en un número finito de localizaciones, permitiendo definir una superficie continua de variación en base a: temperatura, humedad, velocidad viento, insolación,...) Arqueológicamente, esta continuidad se puede ejemplificar con análisis sobre la distribución de restos químicos asociados a alguna acción social (p. ej.: Distribución de fosfatos, de ácidos grasos,...).

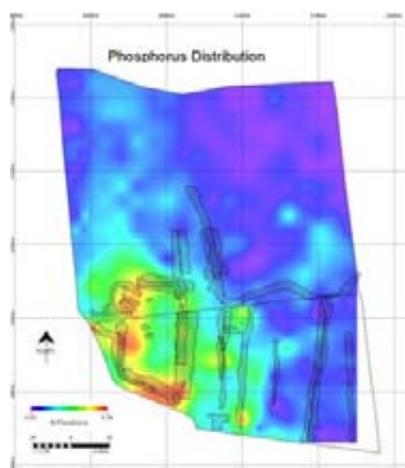


Figura 19: Distribución espacial de restos de fosfatos en un yacimiento arqueológico medieval, posiblemente asociado a actividades del curtido de cueros. Imagen tomada de: *The development of the medieval settlement pattern and landscape in coastal Flanders, AD 400-1500: The Leffinge pilot project, 2002-2004*. Project Directors: Chris Loveluck, University of Nottingham and Dries Tys, Free University of Brussels (VUB).

b. *Datos coordinados*, son observaciones puntuales o discretas vinculadas al área objeto de estudio, donde cada individuo es un coordenado. Un conjunto de coordenados se visualiza como una nube de puntos. En arqueología estos datos se conocen como tridimensionados y se suelen utilizar cuando se georeferencia restos materiales que cuentan con el suficiente interés del arqueólogo.

b. *Campo escalar*, son datos espaciales de frecuencia referenciados sobre unidades de superficie. En arqueología las frecuencias se consideran como una acumulación de material sobre la superficie, generalmente asociado al enclave en donde determinada acción tuvo lugar (Barceló 2002, 2005, Barceló et al. 2003, Barceló & Maximiano 2007, Barceló, Maximiano & Vicente 2005, Maximiano 2005). Las frecuencias espaciales suelen encontrarse espacialmente representadas del mismo modo que los *datos geoestadísticos*. Pero en el caso de las frecuencias, cada una de las celdas expresará la cantidad de observaciones o acumulación de evidencias.

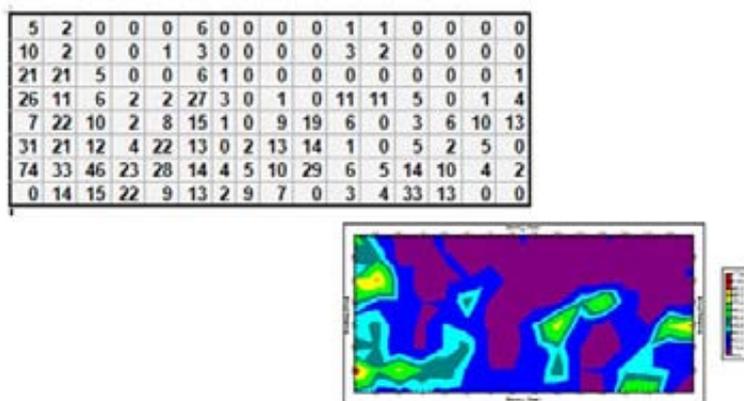


Figura 20: Un ejemplo de campo escalar. Imagen de tabla de contingencia y gráfico de distribución de restos óseos de pájaros del yacimiento *Túnel VII archaeological site (Tierra del Fuego, Argentina)*. *Chronology: 19th Century* (Barceló and Maximiano 2007).

Tras la breve descripción de los tipos de datos espaciales, se plantea que la problemática arqueológica a resolver deberá ajustarse a un formato de datos que permita generar información significativa que resuelva el problema espacial.

En ocasiones el uso de un determinado formato de datos, puede mejorar el rendimiento durante el trabajo de campo, pero la capacidad analítica de esos datos puede verse limitada según la naturaleza del problema espacial.

La mejor elección en el formato de datos pasa por una adecuada relación entre la naturaleza material del fenómeno observable (tipo de evidencia material, tamaño de las evidencias,...) y las preguntas espaciales con su implicación arqueológica.

El objetivo de cualquier análisis espacial es caracterizar la naturaleza de la variabilidad espacial, lo que permitirá determinar el proceso espacial que causó la distribución observada. Un proceso espacial se enuncia como:

Sea Z la variable de interés, y sea s la ubicación espacial donde existe Z , entonces, el proceso espacial es el conjunto:

$$\{Z(s): s \in Z\}$$

$Z(s)$ se refiere a la variable de interés en la ubicación s ,

D es el conjunto índice que se configura por todas las ubicaciones s (la ubicación espacial s puede estar en una, dos o mas dimensiones según el tipo de investigación planteada).

La variabilidad espacial se determina mediante el análisis de:

- i. El **Patrón de localizaciones** de la población objeto de estudio, lo que permitirá definir el tipo de *estructura espacial* que organiza al conjunto de localizaciones.
- ii. La **Autocorrelación espacial** de la distribución, lo que permitirá definir como varían los valores de la variable en función de su localización.

3.1.1. La determinación de la estructura: El análisis del patrón de localizaciones.

El objetivo es conocer **cómo se distribuyen las localizaciones de la variable** según la disposición de cada una de las entidades/eventos de la distribución en una determinada región, lo que permite resolver algunas cuestiones acerca de las relaciones

entre entidades pertenecientes a una misma distribución (Thomas, 1979). El proceso es sencillo:

- (1) Describir cómo es la estructura de la distribución, estableciendo una *medida de la dispersión*, es decir, detallar el modo en que la densidad varía en torno a la superficie de estudio.
- (2) Comparar las distancias existentes entre las localizaciones coordenadas y diferentes modelos teóricos, en función del grado de correspondencia entre ambas (empírica y teórica, se determinará el **patrón espacial** que mejor caracterice a la población.

La esencia de este tipo de análisis radica en que a través del análisis de la distribución de frecuencias de un *patrón* espacial, se pueda inferir el tipo de proceso causal (Thomas, 1979, 1985; Thomas et al. 1980).

Los primeros trabajos de estimación de la variación en distribuciones espaciales se realizaron en base al cálculo de determinados *índices de dispersión*, que se definen como una serie de valores numéricos cuyo objeto es analizar el grado de separación de los valores de una serie estadística con respecto a las medidas de tendencia central. Existen diferentes tipos de índices que en función de su complejidad, van desde los operadores descriptivos como son la desviación media, varianza, desviación típica (usados en los análisis estadísticos generales) hasta coeficientes de apertura, índice de dispersión mediana, coeficiente de variación (índice de dispersión de Pearson)... Todos estos *índices*, están basados en la distribución de las muestras, relacionando la *varianza muestral* con la *media*, pero sin tener presente la localización de los sucesos muestreados, lo cual implica:

- Dependencia de los resultados en base al tamaño de la unidad muestral,
- Incapacidad en detectar el patrón de distribución espacial.

En respuesta a los problemas de los *índices de dispersión* se han desarrollado una serie de métodos que sí tienen en cuenta el papel clave que desempeña la localización en la estimación de la variación espacial. El resultado es un conjunto de *operadores*

estadísticos (descriptores y test) y una clasificación de *distribuciones teóricas* asociados a *patrones* y a sus potenciales *procesos* causales.

Son muchas las distribuciones teóricas que pueden utilizarse para representar la variabilidad espacial (Azzalini, 1996). Normalmente, se aplica alguna de las siguientes distribuciones para la representación básica del proceso espacial:

- a. **Distribución Poisson:** La distribución de frecuencias observada sigue un patrón al azar, estableciendo un *proceso espacial* causal de tipo *errático*. Su implicación más importante se centra en que la probabilidad de aparición de un suceso (encontrar una entidad en una localización) es igual en toda el área muestral, o lo que es lo mismo, la localización de un suceso no condiciona a la localización de ningún otro. Esta distribución se parametriza desde la medida λ que es igual al valor del promedio μ , y a la varianza σ^2 . (Zar, 1996)
- b. **Distribución Binomial Positiva:** Responde a un *patrón espacialmente uniforme*, lo que significa que la probabilidad de encontrar una entidad localizada en donde exista otra es muy bajo o nulo, mostrando una tendencia a la repulsión entre pares de localizaciones. En esta distribución el promedio μ es mayor que la varianza σ^2 y se parametriza desde dos parámetros K y P (donde K es igual a n , que es el número máximo de individuos esperados en la unidad de muestreo) (Zar, 1996)
- c. **Distribución Normal Bivariada:** Responde a un *patrón agregado*. Su implicación espacial se centra en que la localización de una entidad se encuentra relacionada (esta en función de) con la localización de otras entidades. En estas distribuciones, tanto el eje x como el y , se corresponden a una distribución normal, centrada y simétrica alrededor de su media. Además, ambos ejes de coordenadas están correlacionados (Mardia, 1970; Rose & Smith, 1996; Kotz et al. 2000). Esta distribución se caracteriza desde los parámetros *media* de x y la *media* de y , junto a la desviación típica global de las distancias entre puntos, así como la correlación entre x e y .

Además de estos casos, existen otras funciones teóricas que modelizan la variabilidad espacial, lo que conduce a la siguiente pregunta: ¿Constituyen estas distribuciones teóricas la mejor manera de describir la variabilidad espacial de las evidencias arqueológicas?

Obviamente, estas funciones son modelos teóricos y tan sólo pueden ser operativos en circunstancias ideales, ya que lo que realmente se pretende es determinar la localización de una acción en función a las condiciones estructurales de la distribución espacial de sus efectos. Para ello, deberá tenerse en cuenta la siguiente consideración: “...*Si y solamente si, la modalidad espacial de una acción social concreta y bien individualizada era regular, y sus consecuencias materiales no han sido alteradas de una manera significativa por procesos post-depositacionales, las frecuencias espaciales arqueológicamente medidas podrán responder a la modelización de una distribución normal bivariada...*” (Barceló & Maximiano 2007).

Del mismo modo que la distribución *Normal bivariada* refleja la distribución teórica de los restos de una acción (supuestamente sin la presencia de un elevado grado de modificación), la distribución *Poisson* muestra la circunstancia espacial más compleja, pero que en ocasiones es posible: la absoluta falta de estructuración entre entidades espaciales.

Tras una aproximación a los tipos de *distribuciones*, se realiza la descripción exhaustiva de la *estructura espacial* mediante una batería de pruebas estadísticas (p.ej. vecino más próximo, K de Ripley, índice de Morisita, test de Binormalidad...) Estas operaciones permiten determinar el tipo de relación que existe entre pares de localizaciones, respondiendo a la pregunta:

¿Cuál es la probabilidad de encontrar *una* localización en las inmediaciones de *otra*?

La respuesta está en función del patrón espacial que defina a la distribución. En el caso de un *patrón uniforme*, la probabilidad de encontrar un punto en las inmediaciones de otro será menor (si la distancia es inferior al valor medio de distancia de repulsión) que en el supuesto de un *patrón espacialmente aleatorio*, mientras que en el *patrón agrupado*, la probabilidad de encontrar un punto en las inmediaciones de otro, será elevada (de la Cruz Rot, 2006).

(*) Los contenidos formales y metodológicos del análisis estructural se desarrollan en el bloque 2 del presente capítulo.

3.1.2. La medida de la correlación:

Este tipo de análisis determina cómo es el **cambio en los valores que toma la variable para cada una de las localizaciones observadas** $Z (s_i)$. Con lo que se logra una cuantificación estadística tanto de la *intensidad* como de la *escala* espacial en que cambia la población objeto de estudio, estableciendo una medida de la *heterogeneidad* espacial de la distribución.

La clave se encuentra en la **medida de la correlación** espacial, que mide el grado de similitud para una variable de tipo cuantitativa o categórica (z) entre puntos vecinos sobre el área muestral, usando para ello diferentes métodos según la naturaleza del problema a tratar. En los casos de variables binarias se aplica el *conteo continuo*; para variables cuantitativas se usan los *Correlogramas* de *Moran* y de *Geary*, el *semivariograma* y la *dimensión fractal*, como los estadísticos más aplicados. En el caso de análisis espacial multivariante, se emplean el *correlograma* y *test de Mantel*.

En la medida de la correlación, se trata de analizar la variabilidad espacial de los diferentes valores que toma la variable en cada una de las localizaciones, con ello se intenta saber de que manera se organizan los valores de la variable en función a la localización que ocupan. De este modo³³:

$Z(x)$ es el valor de una variable en una localización x .

$Z(x+h)$ es el valor de la misma variable en un punto distante h del anterior.

En el caso bidimensional:

x es el punto de coordenadas (x, y)

h es un vector con origen en dicho punto y módulo $|h|$.

La herramienta estadística que calcula la medida de autocorrelación espacial en una distribución se conoce como *Variograma* (o *Semivariograma*). Es una función que modela el tipo y la intensidad de la autocorrelación espacial que exista en la variable. Es, según su precursor: “... *la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias, al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales en el espacio...*” G. Matheron (1963) *Principles of geostatistics. Economy Geology* 58: 1246-1266. Su expresión algebraica es:

³³ En F. J. Moral García (2004)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

$Z(x_i)$ son los valores muestrales en los puntos x_i , es decir en los que se tienen datos tanto en x_i como en x_i+h ;

$N(h)$ es el número de pares de datos separados por una distancia h .

El *semivariograma* representa **la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia**, para poder aplicarlo se necesitan datos geoestadísticos o de frecuencia espacial, nunca se puede calcular sobre coordenados.

El uso del semivariograma no es la única opción en el análisis de la autocorrelación espacial, existen una serie de operadores estadísticos como son la función de correlación (correlograma) y la función de covarianza (Isaaks y Srivastava 1989; Deutsch & Journel. 1992), que pueden usarse en lugar del variograma.

Los resultados de la semivarianza muestran una función $h(v)$ que define el comportamiento espacial de la distribución en términos del grado de autocorrelación medido y sus implicaciones básicas son:

- Si la distribución no está autocorrelacionada, entonces, la distribución es espacialmente aleatoria.
- Si la función se encuentra autocorrelacionada, existirá dependencia espacial entre las localizaciones pertenecientes a la distribución.

(*) Los contenidos formales y metodológicos se desarrollan en el bloque 2 del presente capítulo.

3.2. ORGANIZACIÓN DEL ANÁLISIS ESPACIAL.

En las páginas anteriores se aportan unas nociones introductorias acerca de la propuesta de análisis espacial en esta tesis. En este bloque se tratan cuestiones analíticas de la variabilidad espacial, describiendo y definiendo la utilidad de cada operador estadístico.

Se ha decidido estructurar el texto en tres apartados. Se inicia con el análisis de *Primer Orden*, en el que se tratan cuestiones referidas a la descripción estadística de la varianza.

En el siguiente apartado, análisis de *Segundo Orden*, se comentan los estadísticos implementados para conocer los parámetros estructurales y los de correlación.

En el tercer apartado, se comentan métodos dedicados a la identificación y clasificación de grupos.

Análisis de Primer Orden:

A continuación, se enuncian una serie de medidas de descripción de la distribución. Como existe la posibilidad de trabajar con diferentes tipos de datos espaciales se definen dos conjuntos de descriptores diferentes:

- 1) Para los datos espaciales discontinuos (datos coordinados) se emplearán parámetros de estadística bidimensional.
- 2) Para los datos espaciales continuos (campo escalar y datos geostatísticos), se utilizarán una serie de herramientas que cuantifican la concentración/dispersión de la distribución, desde una estadística unidimensional.

En el caso de datos espaciales discontinuos, la descripción se realiza desde dos variables: X_n , Y_n (ya que se trabaja en el caso bidimensional). Se ha seguido los contenidos y el orden de análisis que propone el tutorial del programa estadístico *CrimestatIII*. (*)³⁴. Los valores se cuantifican a partir de las *coordenadas euclídeas* (x , y) de cada uno de los coordinados que configura la distribución observada en base a un sistema de referencia definido. Los estadísticos descriptivos empleados son:

³⁴ Información obtenida de <http://www.icpsr.umich.edu/CRIMESTAT/files/CrimeStatChapter.4.pdf>

Media Central
Mediana Central
Centro de Mínimas Distancias
Desviación Estándar de la Coordenadas X e Y
Desviación estándar de la Distancia
Desviación estándar de la Elipse
Media Geométrica
Media Armónica

En el caso de los datos espaciales continuos, la descripción es univariante y analiza cómo se distribuye la frecuencia de valores repartidos entre el número de retículas en las que se haya compartimentado el área prospectada. Los descriptores básicos son: Media rango, moda, desviación y densidad. La información generada se complementa con otros dos descriptores:

- Densidad Media: Es el número de sucesos (ítems) dividido por el área. En ocasiones, es el cálculo de la intensidad que equivale a la medida de la media de eventos por unidad de área.
- Media Central Ponderada: Donde a cada una de las coordenadas de los centroides se les atribuyen un valor específico (peso) que estará en función del número de restos que existan en cada retícula. Esta media puede ser muy útil en casos en los que se describa diferenciación espacial.

Análisis de segundo Orden:

El análisis de segundo orden describe las propiedades de la co-variación (o correlación) entre los valores de frecuencias y su localización espacial. Plantea que las frecuencias de los sucesos arqueológicos y la intensidad diferencial de la variable dependiente varían de una localización a otra, en función de los efectos locales de la interacción entre observaciones. Por ejemplo, las consecuencias materiales de una acción social tenderán a suceder en una localización relacionada (positiva o negativamente) con la localización donde se ha realizado otra acción social.

3.2.1. Análisis de la Estructura:

Los *métodos de análisis*, que se exponen en las siguientes páginas, tienen como objetivo la detección y descripción de *patrones* de distribución espacial, permitiendo la evaluación de hipótesis sobre los *procesos* causales (de índole social y natural) de la *distribución* observada.

La conceptualización del término *patrón espacial* designa a un conjunto de “características” de una serie de puntos que describen la localización de los mismos en términos de distancia relativa de cada punto con los demás (Upton & Fingleton, 1985).

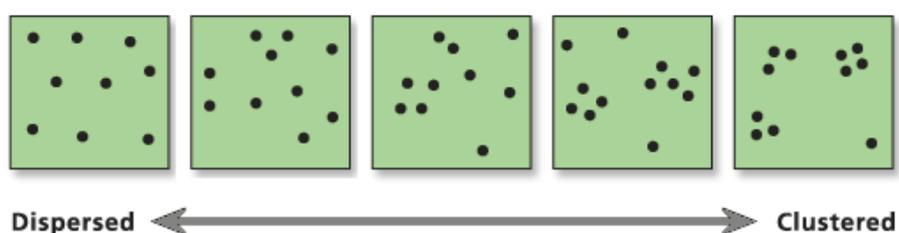


Figura 21: Esquema que representa los patrones espaciales. Área 1: tendencia a la uniformidad (máxima dispersión); área 2 y 3: tendencia a la *aleatoriedad*; área 3 y 4: tendencia a la agregación (concentraciones)

Imagen tomada de:

http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/NET/shared/geoprocessing/spatial_statistics_tools/average_nearest_neighbor_spatial_statistics_.htm

En la literatura estadística existe una amplia colección de métodos de cuantificación del patrón espacial de una distribución (algunas de las revisiones son los trabajos de Pielou, 1969; Upton & Fingleton 1985; Diggle 2003... entre otros) En el caso arqueológico, no es hasta los años 70 y 80, cuando se adoptan los métodos de análisis geográficos implementados en los años 50 y 60 (Conolly & Lake 2006:149) Algunos casos concretos de análisis estructural son los trabajos de Renfrew & Dixon, 1976; Hoder & Orton, 1976; Djindjian 1990, ..., entre otros.

A través de la descripción estadística del patrón espacial existe la posibilidad de inferir el proceso o procesos causales de la distribución. Ahora bien, la investigación de la variabilidad espacial debe tener siempre presente que un mismo tipo de *patrón* puede ser el resultado de *procesos* causales diferentes. Por ello, se debe cumplimentar el análisis de la variabilidad con el aporte de descripciones (analíticas o inferenciales) que

permitan interpretar correctamente los resultados, matizando con mayor precisión, en qué medida el patrón observado es consecuencia de un/varios proceso/s causal/es.

Esta consideración es fundamental en el caso de la variabilidad espacial arqueológica, ya que la *casuística social* puede llegar a ser tan variada en el análisis estadístico de la variabilidad espacial, que tan sólo se pueda interpretar una fracción mínima del fenómeno observado, lo que podría llevar a generar un determinado grado de confusión sobre la interpretación de la variabilidad espacial observada.

Para eliminar “ruido” en el análisis espacial arqueológico es adecuado contar con un complemento de información, algo que permita ubicar los resultados analíticos dentro de unos referentes probables. De ahí, la importancia que cobra la información que pueda aportar (en los casos en los que sea posible usarlo): (1) el arqueo-experimento y (2) la consideración de fuentes etnográficas.

En algunos casos, el ejercicio de replicar o la simulación informática del proceso que generó una distribución arqueológica determinada bajo unas condiciones controladas puede aportar elementos significativos en la comprensión del *patrón* espacial que caracteriza a una determinada distribución. En otros casos, conocer el proceso causal de la distribución en base a una fuente etnográfica (gestión de un determinado tipo de residuo, dinámica espacial en el modo de realizar talla lítica,...) puede ser un vector adecuado para comprender la relación que pudiera existir entre el *patrón* espacial y el/los proceso/s causal/es.

Un aspecto clave en el análisis estructural es el alcance teórico del *patrón de puntos* aleatorio, ya que supone que cualquier región del plano tiene la misma probabilidad de contener un punto. Este comportamiento espacial se equipara con la distribución teórica de *Poisson* (Cressie, 1993), convirtiendo a dicho supuesto (aleatoriedad) en la hipótesis nula de la variabilidad espacial, siendo conocida como **CSR** (*complete spatial randomness*).

A continuación, se describen dos operadores estadísticos en la determinación del patrón espacial en términos de distancias (nube de puntos): *Vecino más próximo* y *K de Ripley*, ya que esta metodología cuenta con una extensa literatura tanto a nivel teórico como en casos de aplicación. Por ello, se ha realizado una selección bibliográfica, que se estructura desde dos ámbitos: orígenes y desarrollo del método y aplicación en casos arqueológicos.

Finalmente, se sintetizan las nuevas técnicas implementadas en el cálculo estructural de la variabilidad en base a las distancias, que se aplican en problemáticas espaciales diferentes a la disciplina arqueológica. Por ello, se intenta reflexionar acerca de sus posibilidades de desarrollo en el caso arqueológico.

Análisis del vecino más próximo (NNA):

El análisis de la *distancia al vecino más próximo* parte de la función de *distribución acumulativa* de la prueba de Clark y Evans (Clark & Evans, 1954), que informa acerca del patrón espacial observado como una función de distancia d (Upton & Fingleton 1985; Cressie 1993; Dixon, 2002a; Diggle 2003; Schabenberger & Gotway 2005).

Este operador parte del supuesto por el cual si n eventos se encontraran distribuidos aleatoriamente en un área A , la función de distribución esperada para la distancia al vecino más próximo d se caracterizarán por la distribución *Poisson*.

El índice del vecino más próximo (NNI) es la estimación de este operador, estableciéndose la comparación entre las distancias de puntos próximos y las distancias esperadas entre dichos puntos según el tipo de condiciones:

- Distancia real entre puntos, que es el cálculo efectuado sobre todas las distancias mínimas de cada punto con los demás, estimándose una media total sobre la misma.
- Cálculo de la media aleatoria de las distancias, que es la distancia esperada al vecino más próximo si la distribución fuera aleatoria (Poisson).

Según lo dicho, el índice se configura de la siguiente manera:

$$\text{NNI} = (d(NN)/d(Alea))$$

$d(NN)$ es la distancia media real.

$d(Alea)$ es el módulo de la distancia media de la distribución Poisson.

Los posibles resultados del cociente son:

Distribución aleatoria: NNI se encuentra próximo a 1, lo que indica que las distancias reales y las esperadas coinciden, de tal modo que la distribución se ajusta a una *Poisson*.

Distribución no aleatoria cuando:

NNI > 1, existe tendencia a la dispersión.

NNI < 1, existe tendencia a la agregación.

Este operador es muy válido en la estimación del patrón espacial de la población, pero tiene un problema, ya que se ve influenciado en sus resultados en función de cómo varíe el factor de escala aplicado en el análisis de vecindad.

Para evitar ese desfase, se emplea una serie de controles geométricos que permiten estandarizar el factor de escala del test, circunscribiendo el límite escalar de la distribución con los límites reales de la misma. Estas operaciones se realizan desde dos herramientas: *Rectángulo mínimo* y *Convex hull*. Desde ambos instrumentos se limita la superficie de la distribución en base a sus puntos más extremos.

El *Rectángulo mínimo* opera desde el par de puntos más alejado, generando entre ellos un eje ortogonal, incluyendo el resto de la distribución en ese límite, generando un valor de área inferior al de la ventana o escala desde la que se ha planteado el análisis.

En el caso del *Convex Hull* se representa un polígono (generalmente irregular) que circunscribe a todos los puntos de la distribución, usando cada uno de los valores extremos como los límites del polígono, generando un valor de área inferior al de la ventana o escala desde donde se ha planteado el análisis.

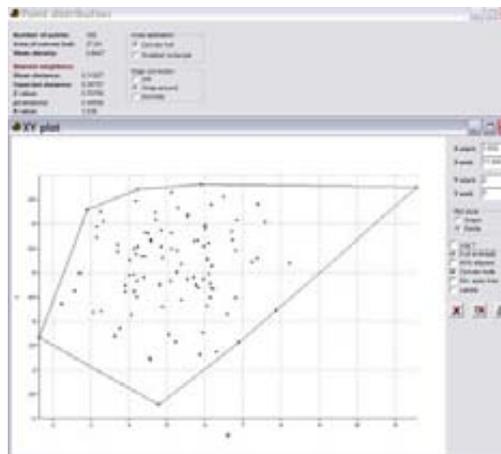


Figura 22: En el gráfico se delimita la zona de actuación del análisis NNA enmarcado en su *convex hull*.

Existen numerosas aplicaciones informáticas para el cálculo del Vecino más próximo, en esta tesis se proponen los programas: *PAST* y *Crimestat III*.

La implementación en arqueología del test se asocia a la determinación de patrones de asentamientos (escala *landscape*). Algunas aplicaciones y/o revisiones del método se encuentran en los trabajos de: Clarke 1972; Hodder 1972; Whallon 1974; Hodder & Orton 1976; Grant 1986; Savage 1990; Rugles & Church 1996; Perlès 1999; Ladefoged & Pearson 2000, Wheatley & Gillings 2002;..., entre otros. La aplicación de este test en el análisis *intra-site* no ha sido tan pródigo como a nivel de territorio, aún así destacan las propuestas de Whallon 1974 y Diggle 1976.

Test de Mardia como medida de la Normalidad bivariada

El punto de partida es una distribución *normal bivariada* que sirve para simular la formación de modalidades espaciales regulares y que suele ser testeada mediante *Mardia's skewness* y el test de *Multivariación de la Curtosis* (Mardia 1985). A través de estos test, se puede discernir entre los supuestos extremos de regularidad (la agregación y la uniformidad) y el patrón con tendencia a la aleatoriedad (Cox & Small 1978; Smith & Jain 1988; Curran et al. 1996).

En estos casos la curtosis decrecerá proporcionalmente a medida que incrementa la desviación estándar de la distribución. Esto indica que a medida que la entropía incrementa, la concentración decrece sin afectar a la modalidad regular de la distribución. Un ejemplo arqueológico se encuentra en el trabajo de J. A. Barceló y A. Maximiano (Barceló & Maximiano 2007).

K de Ripley:

Es un operador que permite establecer el *tipo*, la *intensidad* y el *rango* del *patrón espacial* a través del análisis de las distancias existentes entre todos los puntos.

Este test permite contrastar la variabilidad en base a diferentes escalas (Ripley 1976; 1981; Venables & Ripley 1997). Su notación:

$$K(d) = \frac{n-2}{A} \sum \sum w_{(ij)}^{-1} I_{(ij)}(d)$$

n, número de puntos

A, área de la región prospectada en m²

w(ij), es el factor de correlación del efecto de borde

I (ij) (d), es 1 si $d_{ij} < d$; 0 si $d_{ij} > d$;

d_{ij} es la distancia existente entre los puntos i y j

El supuesto de partida de este estadístico se basa en que si un grupo de puntos se distribuyen aleatoriamente, por ejemplo desde una función Poisson, con una determinada densidad λ , el número esperado de puntos en un círculo de radio r , es igual a: $\lambda \pi r^2$; estimándose la desviación respecto a la aleatoriedad mediante la función *K de Ripley* (Ripley 1977, 1981; Upton & Fingleton 1985; Cressier 1993; Bailey & Gattrell, 1995; Dixon 2002b; Diggle 2003; Schalbeberger & Gotway 2005).

La función *K* es una función de distribución acumulada, ya que a cada distancia r , todos los pares de puntos separados por una distancia menor que r se usan para estimar el valor de la función.

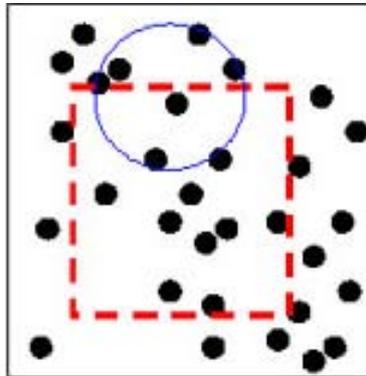


Figura 23: Representación del operador *K*: Un punto p cualquiera, con un radio r (en color azul) constante cuantifica el número de puntos inscritos en dicho radio y calcula las inter-distancias existentes entre los puntos. En la misma imagen se ejemplifica el problema del efecto borde (recuadro rojo discontinuo)

El test se basa en la comprobación de si el patrón observado puede definirse como la realización de un proceso Poisson. Para ello, se construye una *K* teórica de tipo CSR (cumpliendo la condición de igual intensidad que la distribución que se desea testear) y se compara con la función *K(r)* de la distribución observada. El valor teórico esperado de la función *K* bajo el supuesto de CSR es igual a πr^2 . De tal modo que:

$K(r) > \pi r^2$, indica agregación;

$K(r) < \pi r^2$ indica uniformidad;

$K(r) = \pi r^2$; muestra aleatoriedad.

Dado que en las áreas de estudio que cuentan con límites definidos, se pueden producir variaciones estocásticas que causen valores mayores o menores que r^2 , incluso para patrones de Poisson, el test se deberá completarse con la construcción de intervalos de confianza, empleando para ello el método Monte Carlo, que consiste en realizar una simulación de un número elevado de patrones Poisson (con la misma intensidad y en un área del mismo tamaño que el patrón observado).

Los valores de la función de cada uno de ellos se ordenan o bien, se representan en forma de *envoltorio* para cada valor de r los valores máximo y mínimo alcanzados o bien, se calculan y representan gráficamente los percentiles apropiados. Por ejemplo, el 2.5% y el 97.5%, para formar un *envoltorio* que representa un intervalo de confianza del 95 % (ver con más detalle en Dixon 2002; Moller & Waagepetersen 2007). Con esta operación, se consideran únicamente patrones no-CSR, aquellos en los que aunque $K(r)$ sea distinta de r^2 y sus valores queden por encima o por debajo de los valores límites representados por las envueltas. (De la Cruz Rot 2006).

En la práctica, suele emplearse con mayor frecuencia la función alternativa a la $K(r)$ ya que con esta variante se consigue estabilizar la varianza y se tiende a linealizar la función:

$$L(r) = (K(r)/\pi)^{1/2}$$

La interpretación se realiza representando $L(r)-r$ frente a la distancia r , lo cual se ajusta a la hipótesis nula al valor 0 (Besag 1977). Un patrón es agregado cuando $L(r)-r$ sea significativamente mayor que 0 y un patrón regular es cuando $L(r)-r$ es *significativamente menor que 0*.

Otras representaciones/test alternativas son: $K(r)-r^2$ (con valor teórico de 0) y $[K(r)/\pi r^2]-1$ (con valor esperado de 0 y desviaciones proporcionales al exceso o carencia de individuos).

Existen algunas limitaciones de la función K , sobretodo cuando falta homogeneidad y existe tendencia a la anisotropía en los datos, produciendo funciones de distribución sesgadas, aunque mantengan la capacidad interpretativa del estadístico para procesos heterogéneos, ya que la propia función K se encuentra definida en términos de aleatoriedad (Dixon 2002b). La solución más evidente a este problema entre la función K y la heterogeneidad, pasa por el uso de una serie de técnicas que permitan detectar y delimitar subregiones en el área de estudio que sí sean homogéneas, realizando sobre dichas áreas el análisis K . Existe una literatura amplia acerca de esta problemática, de la que destacan las propuestas de Wiegand et al., 1999; Wiegand & Moloney, 2004 que aplican la solución informática para el cálculo de la función K (y el de su homónima función O) en el software: “Programita” (Acceso gratuito desde http://www.oesa.ufz.de/towi/towi_programita.html)

Los casos encontrados son la aplicación empírica de Bevan & Conolly (2006:217-234) y también en Conolly & Lake (2006:167) que son estudios de casos a nivel de territorio, cuya aplicación teórica, a nivel *intra-site* ha sido propuesta por J.A. Barceló & A. Maximiano (Barceló & Maximiano, 2007).

ALGUNAS CONSIDERACIONES EN LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE RESTOS ARQUEOLÓGICOS:

La aplicación de estos test no ha sido muy común en el caso de la práctica arqueológica a nivel *intra-site*. Probablemente, las causas de su escasa repercusión se encuentren en las implicaciones del *efecto borde*, asociado a los problemas de escala en la determinación de la unidad muestral desde la que se realice la analítica de la variabilidad espacial observada.

La solución en determinados casos arqueológicos pasa por el uso de un “inhibidor” sobre el *efecto borde*, que en los casos que sea posible, supone un incremento del área excavada, lo suficiente, para que exceda de los límites de las distribuciones de los restos documentados. Por ejemplo, si se plantea una intervención arqueológica sobre una determinada entidad arqueo-gráfica (cabaña, abrigo, taller...) deberá plantearse un proyecto de excavación con la suficiente significancia y operatividad estadística en lo que atañe a la posible variabilidad espacial percibida y documentada. En esta tesis se

propone un arco de “ausencias” o zonas vacías que oscile entre el 20% y el 50 % más de la superficie, en la que se contraste la ausencia o una considerable baja frecuencia de restos.

Adoptar estas medidas de inhibición sobre el efecto borde, implica un incremento en tiempo y en los gastos propios del proceso de excavación y por supuesto, es evidentemente inviable en el caso en el que la excavación se encuentre en una zona limitada.

La aplicación de las técnicas expuestas, sobretudo en los casos de *NNI* y la *K* de Ripley, permiten determinar si la distribución es o no aleatoria. Generalmente, el caso SCR no es el común para las distribuciones espaciales, pero en el caso arqueológico esto puede producirse con una incidencia mayor que en otras disciplinas, principalmente, debido a la dinámica intrínseca de un yacimiento arqueológico³⁵, es decir, determinadas acciones post depositacionales pueden alterar notablemente la distribución espacial de los efectos de una determinada acción/es, siendo el resultado final una *aleatoriedad “galopante”* para el conjunto de entidades espacialmente distribuidas, según una clasificación de categorías nominales o determinadas categorías analíticas.

En ocasiones, el problema del supuesto *patrón aleatorio* radica en esta atribución nominal o analítica otorgada a la variabilidad espacial. Por ejemplo, reconocer un conjunto de entidades bajo una misma etiqueta puede ser fuente de distorsión, ya que la medida espacial de la variabilidad en su valor aleatorio está indicando la posibilidad de encontrar más de un patrón espacial debido, probablemente, a que existan diferentes tipos de acciones con diferentes dinámicas espaciales, que han sido categorizadas bajo un mismo criterio/etiqueta. Un ejemplo teórico, que puede ser perfectamente un caso empírico, es atribuir a un conjunto de entidades la etiqueta de *desechos de consumo*, integrándolos en una serie de acciones asociadas con la gestión del residuo o basura.

En la variabilidad material que abarca ese etiquetado aparecen por ejemplo, partes esqueletarias de diferentes animales, diferenciables en base a costes de obtención, aporte calórico, estacionariedad del recurso... En definitiva, un conjunto de particularidades que no son tenidas en cuenta, ya que todo se inscribe en la categoría

³⁵Siendo muy optimista, y dejando de considerar el hipotético caso en el que el arqueólogo/a se equivoque en la recopilación de datos, como pueda ser la confusión entre diferentes episodios, o estableciendo asociaciones inexistentes entre entidades.

nominal: residuo. Si se realiza el análisis espacial de estas entidades localizadas en una determinada región del espacio (el basural, integrado en una esfera mayor: la unidad/es productoras de dicha materialidad) casi con toda probabilidad el resultado será el de un patrón SCR: $NNI \pm 1$, o, $K(r)$ es igual a πr^2 . Pero, si se efectuase un análisis espacial diferenciado algunas de las entidades potencialmente diferenciables del “espacio basurero” en, por ejemplo, temporalidad en el uso del basurero, reflejada en la estacionariedad de algunos de los recursos allí encontrados, muy probablemente, el resultado espacial sería diferente a un SCR, quizás se detectaría una agregación espacial sobre este tipo de entidades espacialmente distribuidas. A fin de cuentas, un sumatorio de poblaciones agrupadas puede llegar a producir una distribución global aleatoria (palimpsesto).

Siguiendo con el ejemplo del basural, existe la posibilidad por la que se hayan dado determinadas circunstancias por las que las entidades localizadas en dicha región sufran acciones que distorsionen su orden original y deparen en un patrón espacial netamente aleatorio... Con toda esta argumentación, se quiere poner de manifiesto, una vez más, las limitaciones del análisis espacial en casos arqueológicos. Nunca se debe esperar que el análisis, por muy sofisticado que sea, responda a cuestiones que exceden el marco arqueológico de resolución del problema espacial, ya que los efectos de determinadas acciones repercuten en/sobre los efectos de otras acciones anteriores que son eliminadas o modificadas, introduciendo así un grado de incertidumbre ineludible a todo el sistema. La única solución estriba en conocer bien los límites de la investigación en base a las posibilidades analíticas y la adecuada formulación de las preguntas espaciales, que puedan responderse en un determinado contexto social.

OTRAS CONSIDERACIONES A TENER PRESENTES SON:

El planteamiento de la hipótesis nula debe estar acorde al tipo de proceso espacial que se pretende estudiar, ya que una distribución arqueológica es una fenomenología particular (sucesión no necesariamente lineal entre acciones sociales y naturales), que podrá condicionar el supuesto teórico de partida. El análisis espacial se define mediante el caso más difícil que se produce en la naturaleza: la aleatoriedad, determinada por la propia heterogeneidad que define al mundo... (En los casos arqueológicos, dicha suposición no es tan plausible, ya que suele ser un sistema ajeno a la secuencia lineal de

eventos) y por los problemas intrínsecos a la definición categórica, lo que puede cuantificarse como aleatorio, se convierte en uniforme sólo con modificar las implicaciones nominales en la categoría que varía en el espacio.

La selección del método estadístico más adecuado según las características de la población a estudiar y el entorno donde se desarrolle, ya que las condiciones existentes en la propia excavación y el tipo de problema a resolver dirigen la serie analítica que pueda ser implementada.

La interpretación de los resultados debe ponerse en relación con la información existente en la literatura científica referida al proceso espacial estudiado, ya que la interpretación analítica por sí sola no es capaz de explicar toda la casuística del fenómeno espacial investigado.

3.2.2. Análisis de la correlación:

Los *métodos de análisis* que se exponen en las siguientes páginas tienen como objetivo la medida de la *correlación* que exista en una distribución espacial.

La *correlación* espacial se establece mediante el análisis de cómo una propiedad cuantitativa (intensidad, frecuencia) varía de acuerdo con los ejes de coordenadas X e Y , que miden la localización de cada uno de los valores de dicha propiedad y que son variables independientes.

La caracterización de la variabilidad espacial de una distribución se realiza mediante la estimación de la *auto-correlación* de los distintos valores que adopta la variable dependiente en distintas localizaciones del espacio, que permitirá establecer una medida del grado de similitud de esos valores entre localizaciones vecinas.

La descripción de la *correlación* se puede hacer mediante funciones (correlogramas y semivariograma) o a través de una serie de índices (Moran, Geary, Dimensión fractal). La implementación de la medida de la *autocorrelación* en arqueología es bastante variada, ya que el espectro de pruebas analíticas es amplio. Algunos ejemplos de la literatura arqueológica son: Hodder & Orton, 1976; Freeman, 1982; Johnson, 1982;

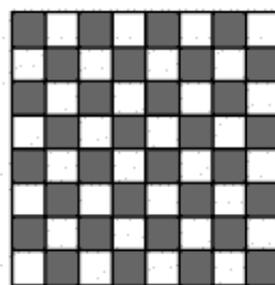
Carr 1985; Bartram & Kroll, 1991; Whilliams, 1993; Barcelo et al, 2004; Lloyd & Adkinson, 2004; Premo, 2004; Maximiano 2005; Barceló & Maximiano 2006;..., entre otros.

En los trabajos de Griffith (1987, 1992) se ha realizado una extensa revisión acerca de diferentes definiciones existentes en la literatura científica, el autor contabiliza un total de nueve, del término *autocorrelación*. En la presente tesis destacan tres:

- Índice del contenido de información de datos *georeferenciados* no detectable mediante estadística clásica.
- Herramienta diagnóstica para detectar modelos espaciales erróneos.
- Indicador de la validez de la división en subunidades de un área.

Según Fortín (Fortín et al 2005), existen cuatro tipos de *autocorrelación* espacial: espúrea, interpolada, verdadera e inducida. En esta tesis, se destacan las dos últimas, aunque no se quiere restar importancia a la *espúrea*, la cual se debe a procesos espaciales subyacentes que afectan a la distribución espacial de datos, apareciendo incluso, cuando las observaciones son independientes (circunstancia que sucede con bastante recurrencia en casos arqueológicos). La autocorrelación *verdadera* es resultado de la interacción causal entre puntos/localizaciones vecinas. La autocorrelación *inducida* es producida por causas de una variable dependiente debido a la acción de otra independiente que covaria con el espacio.

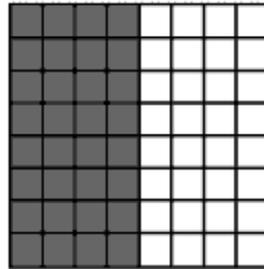
El significado espacial de la *autocorrelación* dependerá del signo de la misma. Se parte del axioma por el cual la presencia de *autocorrelación* (del signo que sea) en una distribución, invalida el supuesto de independencia espacial (la hipótesis SCR).



Sin autocorrelación

Figura 24: Ejemplificación de regiones vecinas sin ningún tipo de relación.

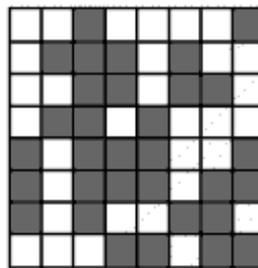
Si la *autocorrelación* es positiva, indica que los puntos vecinos muestran valores similares de la variable z , lo que implica que los valores de la variable (z), medida para un individuo, dependerá de los valores que tome la variable en individuos vecinos que son significativamente más similares.



Autocorrelación positiva

Figura 25: Ejemplificación de regiones vecinas con tendencia a tener propiedades idénticas o de valores semejantes (ejemplo: regiones homogéneas, gradientes regulares)

En el caso en el que la *autocorrelación* resulte ser negativa, se contrastaría que los puntos vecinos tendrán unos valores muy diferentes sobre la variable (z) (Legendre, P. & Legendre, L. 1998) o visto de otro modo, que valores similares de la variable se encuentren localizados muy alejados unos de otros (Worboys, 1995: 157-158).



Autocorrelación negativa

Figura 26: Ejemplificación de regiones vecinas con tendencia a cualidades diferentes, o bien alternan los valores fuertes con los débiles.

Un modelo típico de *autocorrelación* es un gradiente en el que la autocorrelación disminuye de forma monótona desde valores positivos para distancias cortas (p. ej. autocorrelación positiva, esquilas de talla lítica similares respecto a la variable medida: reavivado de filos cortantes en instrumental lítico) hasta valores negativos para distancias largas (autocorrelación negativa, esquilas de talla diferentes respecto a la

variable medida, probablemente porque en dichas localizaciones alejadas se efectuasen otro tipo de acciones).

Existen varias técnicas de análisis de la *correlación* espacial, dependiendo del tipo de variable y la dimensión de la variabilidad objeto de investigación. En el caso de la *univariación*, se producen dos alternativas:

- i. Análisis de Variables binarias (0 = ausencia, 1 = presencia), que desarrolla una metodología procedente del ámbito geográfico (Sokal 1979; Cliff & Ord, 1981; Griffith 1987) empleándose estadísticos como el de “conteo de uniones” (*join count*).
- ii. Análisis de variables cuantitativas, donde se aplican diferentes test como: *I* de Moran, *C* de Geary, y la expresión gráfica conocida como *Correlograma*. A través del desarrollo de la Geoestadística se aplica la técnica del *semivariograma*.

I de Moran:

Es un estadístico adimensional que mide el coeficiente de autocorrelación de una distribución, diseñado por P.A. Moran (Moran, 1950: 17-23). Su notación es:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} z_i z_j}{W \text{var}(z)}$$

W_{ij} es la ponderación que cuantifica la asociación espacial hipotética o proximidad entre las observaciones z_i y z_j , en la posición i y j , $\text{var}(z)$ es la varianza de n observaciones y W es la suma de todos los valores de n^2 de W_{ij} .

En el cociente de la fórmula del estadístico, el numerador es un término que muestra la covarianza, mientras que el denominador indica la varianza. Esto hace que I se comporte como un coeficiente de correlación de Pearson y varíe entre +1 y -1, aunque pueda superar ambos límites (Cliff & Ord, 1981; Upton & Fingleton, 1985). Si los

puntos situados a una distancia concreta muestran valores similares o muy parecidos para la variable medida, el numerador se aproxima al producto de dos desviaciones positivas o de dos negativas, obteniéndose una correlación positiva. Por el contrario, si los puntos contemplan valores muy diferentes, el numerador será una correlación negativa. Así que:

$I > 0$, y con tendencia a +1, la autocorrelación será positiva

$I = 0$, no existe autocorrelación

$I < 0$, y con tendencia a -1, la autocorrelación será negativa

Algunos autores (Clift & Ord, 1981; Upton y Fingleton, 1985; Duncan y Stewart 1991; Fotheringham et al. 2000) han usado una normalización del índice:

$$Z = \frac{I - E}{\sqrt{\text{var}(I)}}$$

En el que $E = -(N-1) \cdot I$, es el valor esperado de I bajo la hipótesis nula de aleatoriedad y N es el número total de puntos cartografiados, siendo $\text{var}(I)$, la varianza de I . La ventaja de este índice radica en fijar los niveles de significación.

Algunas aplicaciones del I de Moran en arqueología se encuentran en los trabajos de Hodder & Orton, 1976; Shokal et al, 1989; Kvamme 1990d; Williams 1993; Neiman 1997; Premo 2004;..., entre otros.

Existen múltiples opciones en software para el cálculo de este estadístico, dentro de aplicaciones GIS como pueden ser ArcView, en GRASS y también en R+ (SAL: spatial análisis laboratory). En esta tesis para los cálculos de I se utiliza el software libre: *Crimestat III* y *Passage*.

C de Geary:

Estadístico diseñado por R.C. Geary (Geary, 1954: 115-145)

$$c = \frac{(N-1)}{2 \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} \right)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_i - x_j)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

El índice c varía desde 0 hasta 3 (Legendre & Fortín, 1989), de tal modo que:

- Valores de c que tiendan a 0 ($c < 1$) indica *autocorrelación* positiva.
- Cuando c tiende a 2 ($c > 1$) corresponde con *autocorrelación* negativa.
- Ausencia de *autocorrelación* se produce cuando $c = 1$.

La interpretación de c es opuesta a la de la I de Moran, ya que se basa en la idea de que la varianza de la diferencia entre dos variables aleatorias dependerá de su covarianza (Dutilleul, 1998), mientras que la I de Moran es un coeficiente de autocorrelación de la muestra. Esto implica ventajas y desventajas de cada *índice* según las circunstancias que rodeen a los datos en el análisis, ya que I se encuentra menos afectado por el tipo de distribución de los datos que pueda soportar c (Clift & Ord, 1981). Mientras que c es menos sensible que I , ante la presencia de valores extremos (Legendre & Fortín, 1989). De tal modo que al elección entre uno u otro índice, dependerá de la naturaleza de los datos.

El estadístico c se ha aplicado muy pocas veces en estudios arqueológicos³⁶, supuestamente, por la solvencia que aporta el índice I de Moran en la mayoría de los casos arqueológicos. Incluirlo en esta tesis, implica considerar la naturaleza de la población arqueológica en unos supuestos determinados en los que exista una elevada diferencia entre los valores extremos de la población (p.ej. retículas cuya n sea 0, frente a otras retículas cuya $n > 200$ items, lo que podría acarrear un serio problema si se aplicara el estadístico I).

En esta tesis para los cálculos de c se utiliza el software libre: *Crimestat III* y *Passage*.

³⁶Aunque aparece citado en los trabajos de: LLOYD & Atkinson, 2004; y Barcelo & Maximiano, 2006

Correlograma:

Es un tipo de función que mide la dependencia espacial (existen dos más: semivariograma y covariograma). Se representa a través de un gráfico que muestra cómo cambia la autocorrelación, expresado mediante un índice, que puede ser I o c (en la ordenada) en función a la distancia (en la abscisa), en la que el correlograma cruza el eje de abscisas para valores de autocorrelación nula ($I = 0$) y representa al tamaño promedio de la zona (*patch*) de influencia de la variable en todas direcciones, asumiendo las condiciones de isotropía del proceso espacial (Sokal & Oden, 1978a; 1978b; Upton & Fingleton 1985; Sokal, Oden & Thompson 1997)

Ahora bien, cualquiera de las tres funciones de dependencia espacial (semivariograma, covariograma o correlograma), se puede usar para la determinación de la relación espacial de los datos. Sin embargo, si en el proceso espacial no existe *estacionariedad de segundo orden*, (*)³⁷ la función de covarianza no puede parametrizar el proceso espacial. (Cressier, 1993:68; Schabnberger & Gotway 2005:135-138). Por esta razón, fundamentalmente, en la práctica se emplea el semivariograma experimental y no las otras dos funciones. Según Matheron (1971) el semivariograma puede operar ante la falta de estacionariedad en el patrón analizado, condición que el *correlograma* es incapaz de asumir.

Semivariograma:

Esta herramienta cuantifica la semi-varianza que existe en una distribución, midiendo el grado de correlación existente entre los valores de la variable en cada punto y la distancia entre aquellos.

El objetivo del semivariograma, integrado en las técnicas geoestadísticas, va más allá de la determinación de la correlación, ya que mediante la cuantificación de la relación de una variable medida en una serie de puntos, se puede conocer/predecir esa misma

³⁷ Se recuerda la definición de estacionariedad de 1er y 2º orden:

- Estacionariedad de 1er orden: Los valores de la media y de la varianza se mantienen constantes a en toda la distribución. Una serie estacionaria se describe de forma comprensible mediante la función de autocorrelación, que establece la correlación entre dos puntos espaciales cualesquiera de la serie en función de la distancia que los separa
- Estacionariedad de 2º orden: se produce cuando los momentos de primer y de segundo orden del proceso estocástico son invariantes en el espacio. $\{Y_s\}$ $\{Y_{s+k}\}$ m , $\text{Var}(Y_s)$ m , $\text{Var}(Y_{s+k})$

variable medida en puntos situados a distancias conocidas, pero que no han sido muestreados (Isaaks & Srivastava, 1989). El variograma se define como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados una distancia h (Journel y Huijbregts, 1978) o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas una distancia h .

$$\text{Var}\{Z(x+h)-Z(x)\} = 2g(h)$$

La función $\gamma(h)$ se denomina **semivariograma** y su expresión, que representa el útil más importante en todo estudio geoestadístico (Armstrong & Carignan, 1997; Weerts & Bierkens, 1993), es:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_p(h)} \sum_{i=1}^{N_p(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

$N_p(h)$ es el número de pares a la distancia h .

h es el incremento.

$Z(x_i)$ son los valores experimentales.

x_i localizaciones donde son medidos los valores $z(x_i)$.

El semivariograma responde a la pregunta: ¿Cómo de parecidos son los puntos en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados? El *semivariograma* es una función utilizada en el análisis espacial, que representa **la tasa media de cambio de una propiedad con respecto a la distancia entre las distintas localizaciones en las que se han medido sus valores**. En la determinación del variograma empírico se debe cumplir tres principios fundamentales (en Isaaks & Srivastava, 1989 y en Goovaerts, 1997 puede consultarse de manera detallada el proceso):

1. El número de puntos muestrales para estimar un variograma en condiciones de isotropía debe ser 100. Si existe anisotropía, los datos deben ser bastante más abundantes (según particularidades de cada caso y acceso a información espacial indirecta).

2. El número de pares de datos requeridos en el cálculo de cada punto del variograma debe estar, al menos, entre 30 y 50.
3. Tras definir el semivariograma experimental, será necesario ajustarlo a un modelo teórico, debido a que el empírico carece de función matemática precisa. La asignación del variograma teórico (los más comunes son los denominados *esférico*, *exponencial*, *gaussiano*, *potencial*, *lineal* y *efecto pepita puro*) responde a apreciaciones subjetivas que se ajusten a los datos muestrales, aunque también se puede seleccionar el teórico que se ajuste a una serie de criterios estadísticos (Cressier 1985), que pueden ayudar en la decisión.

El modelo gráfico de la función semivariograma tiene una serie de componentes que permiten describir ciertos aspectos de la variabilidad espacial de la población objeto de estudio. Sin profundizar, los tres principales son:

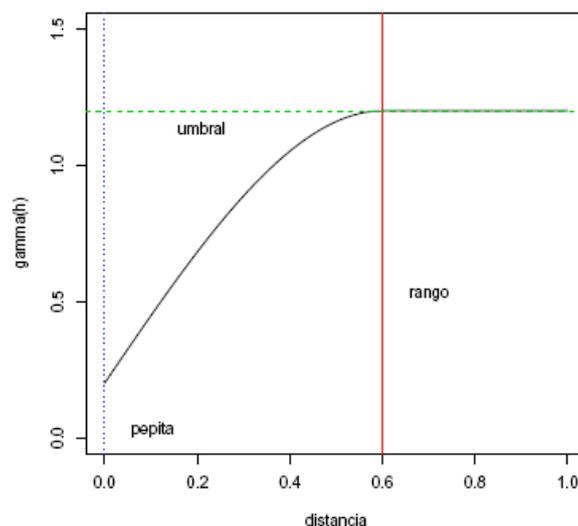


Figura 27: Imagen de las componentes de un variograma. Tomado de R.M. Crujeiras Casais (2007) en <http://eio.usc.es/pub/Crujeiras/apuntes/geoestadistica.pdf>

Meseta/Umbral: Lo común es que el semivariograma sea una función monótona decreciente, ya que al incrementarse la distancia h , aumenta la diferencia, alcanzándose un valor límite conocido como *meseta*, que es el equivalente a la varianza muestral de la población.

Rango: Punto en el que la *meseta* alcanza su máximo valor de h . El módulo del rango es la zona de influencia (distancia) en torno a un punto más allá del cual, la autocorrelación es nula. En otras palabras, la dependencia espacial disminuye

a medida que se incrementa la distancia h y dicha dependencia termina a una distancia concreta: el rango. (*)³⁸ El rango no es unimodal, es decir, puede darse el caso en el que el *rango* no sea igual en todas las direcciones, reflejando la existencia de *anisotropía*, es decir, diferentes intensidades en el proceso espacial según la dirección que se tome. También, puede que para una dirección determinada, haya más de un *rango*, lo cual indica la presencia de distintas estructuras de correlación actuando a diferentes escalas.

Efecto pepita: La interpretación que se haga de un variograma dependerá del tamaño del efecto pepita, ya que la diferencia entre la meseta (si existe) y el efecto pepita representa la proporción de la *varianza muestral* que puede modelizarse como variabilidad espacial. El *efecto pepita* representa dos fuentes de variabilidad que, con frecuencia, actúan a la vez. La primera se debe a la existencia de variabilidad en una distancia más pequeña que el menor h considerado en el análisis, causado por la falta de congruencia entre el tamaño de la unidad de mínimo significado empírica y la empleada en el diseño de toma de datos. En la segunda, la causa de este *efecto* suelen ser los errores experimentales.

Si los variogramas experimentales tienden a la horizontalidad con valores próximos a la varianza muestral, indica la ausencia de una estructura espacial. A estos semivariogramas se les conoce como efecto pepita puro y están asociados a procesos espaciales aleatorios.

Para concluir, la **función semivariograma** es una aproximación de *cómo* puede ser la variación espacial, ya que:

1. Reconoce si la distribución responde, o no, a un proceso espacial aleatorio y relaciona el modelo empírico con alguno de los casos teóricos (lineal, exponencial, gaussiano, esférico, Cauchy,...) de distribución espacial.
2. Aporta una medida de la correlación entre todos los pares de puntos de la población espacialmente distribuida.

³⁸ Sin embargo, no todos los *semivariogramas* alcanzan una *meseta* ya que se puede dar el caso en el que el semivariograma no tienda asintóticamente a la varianza, sino que tienda a infinito cuando así lo haga h . La principal implicación de esto último es que...

3. Indica trazas particulares sobre la configuración espacial de la población que deberán ser investigadas desde otras herramientas analíticas.
4. Es un instrumento esencial para la predicción de la variabilidad espacial de poblaciones en zonas donde no se puede realizar el muestreo de la variación espacial.

La aplicación del semivariograma en casos arqueológicos es escasa, aunque la temática es amplia, lo que augura un brillante porvenir en la aplicación de esta herramienta en casos de variabilidad espacial arqueológica tanto en el uso de predictibilidad, como en el análisis de segundo orden. Algunos trabajos donde se utiliza la función semivariograma son: Zubrow & Harbaugh, 1978; Lloyd & Atkinson 2004; Maximiano 2005; Barceló & Maximiano 2006; Mansur, Maximiano *et al* 2006.

Existen múltiples soluciones informáticas para el cálculo de la semivarianza, algunas de ellas son: *Variowin*, *Vesper*, *Past*.

Dimensión fractal:

El índice (D) es una medida de la complejidad espacial (Stoyan & Stoyan, 1994), que estima la dependencia respecto a la escala de un patrón espacial.

La teoría general, que sustenta la dimensión fractal, enfatiza la manera en la que una acumulación en cierto lugar del espacio físico de acciones puntuales o decisiones aparentemente descoordinadas o caóticas dan lugar a patrones espaciales autoorganizados y ordenados.

A *grosso modo*, se considera que bajos valores de dimensión fractal equivalen a valores de autocorrelación elevados, o lo que es lo mismo, apenas existe variación en los valores de la variable aún cuando dos puntos se encuentren bastante alejados entre sí. Mientras que una baja autocorrelación indicaría una dimensión fractal alta (Burroug,

1983), es decir, existirá una considerable variación en los valores de la variable en base a la distancia a la que se encuentren los puntos³⁹.

Así que, se puede relacionar la dimensión fractal de la distribución con el patrón espacial de la misma. Si la autocorrelación es elevada (poca variación en mucha distancia), la dimensión fractal será pequeña, siendo un *patrón* espacial con tendencia a la homogeneidad en la distribución de la variable sobre un conjunto de localizaciones. Si la autocorrelación es baja (muchas variaciones en poca distancia), la dimensión fractal será alta, lo que indica un patrón espacial con tendencia a la agregación, en concreto, a la *clusterización*.

Estas soluciones son operativas desde un punto de vista semántico. Ahora bien, la aplicación de esta herramienta es compleja, ya que existe un límite provocado por la práctica arqueológica: identificar artefactos con un tamaño inferior a 2mm. Esto induce a error en el cálculo de la dimensión fractal, ya que una cosa es la percepción arqueológica de la variabilidad y otra, la expresión real de dicha variación (sobre todo en lo que se refiere a los diferentes grados de fragmentación de las distribuciones). En el trabajo de C. T. Brown (Brown, 2001) se pone de manifiesto las limitaciones de este tipo de análisis, que están adscritas al *modo* de los datos espaciales arqueológicos, lo que aparentemente condiciona el resultado de la dimensión fractal. Probablemente, al introducir determinadas correcciones sobre los datos espaciales arqueológicos, exista la posibilidad de realizar, con ciertas garantías, el análisis fractal en casos *intra-site* en arqueología.

Análisis Espectral:

Identifica la dependencia, estableciendo el ajuste y la descripción de la estructura espacial de la variable a través del análisis de la frecuencia (Renshaw & Ford, 1983, 1984; Newbery, Ford et al, 1986;...). Para ello, se trabaja con unas determinadas funciones de frecuencia, denominadas: *Ondas de Fourier*, cuyo fundamento es en el *Teorema de Bochner* (Bochner & Martin 1948), desde las cuales se puede establecer:

³⁹Esta técnica se encuentra bastante desarrollada en aplicaciones de ecología forestal y biología, permitiendo caracterizar la complejidad de los patrones espaciales sobre distribuciones vegetales, y también se emplea en la detección de fronteras entre ecotonos (Camarero & Rozas, 2005:79)

· *Función de Densidad Espectral*, que es el estimador del modelo de agregación que cuantifica el aporte de todas y cada una de las ondas a la variabilidad total del sistema.

· *Función de Coherencia Espectral*, como el indicador del grado de correlación espacial entre distribuciones de diferentes variables, estableciendo la jerarquización y el análisis cualitativo de la similitud entre patrones de distribución.

Este tipo de analítica excede las intenciones de esta tesis, sin embargo, se reconoce que es un enfoque muy interesante, ya que permite trabajar con aspectos diferentes a los que hasta ahora se han planteado en el análisis espacial, siendo bastante probable la aplicación de dichas técnicas espectrales en determinados casos de variabilidad espacial arqueológica. Aún así, existen aplicaciones como el trabajo de I. Graham (1980:105-129) y las implementaciones en *intra-site* análisis por parte de C. Carr (1984:249-283) y (1986: 236-294).

ALGUNAS CONSIDERACIONES EN LA DETERMINACIÓN DE LA AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE RESTOS ARQUEOLÓGICOS:

Las variables arqueológicas suelen ser ambiguas, es decir, no es lo mismo la *autocorrelación* de la variable *fauna*, que de la variable fauna de animales domesticados de medio tamaño, a no ser que ambos casos estén en un mismo contexto de uso, por ejemplo: un basural, en donde todos los restos son apartados del *espacio doméstico* de la misma manera, aunque hayan sido producidos y/o consumidos de distinta manera.

Empero, el estudio de la materialidad arqueológica condiciona el análisis espacial del registro y las posibles interpretaciones de la variabilidad espacial observada. De lo que se extrae la siguiente conclusión: en función del tipo de análisis, se deberá usar la caracterización más particular posible de la materia.

El estudio de la *correlación* se encuentra estrechamente ligado al análisis estructural, ya que ambas pretenden alcanzar una caracterización sobre el proceso espacial causante de la distribución objeto de estudio. Como ya quedó claro, la *estructura* define el tipo de patrón espacial en base al criterio *distancias* entre las localizaciones. Desde la

correlación, se estima el proceso espacial en tanto a la variación en la intensidad o frecuencia, lo que permite describir la naturaleza estadística de esa misma variación (gradiente) y establecer los límites de la misma.

Bajo estas circunstancias y para que la medida de la *correlación* tenga significado, se deberá tender hacia una cuantificación estadística tanto del *grado* como de la *escala* espacial en que la población cambia (Gallardo, 2006), ya que sólo por esta vía analítica se podrá generar un conocimiento lo suficientemente válido que permita describir la autocorrelación espacial de cualquier fenómeno distribuido en un conjunto extenso de localizaciones.

Probablemente, lo más importante en este tipo de análisis no se encuentre tan sólo en la determinación del *patrón*, el *límite* y el modo de la *varianza* del fenómeno sobre cierta región del espacio, sino en poder entender y expresar la relación que dicho fenómeno tiene, necesariamente, con las condiciones *abióticas*, *bióticas* y *sociales* del entorno en donde se localiza la variación del mismo.

Esas condiciones del “entorno” o “medio” interactúan con el fenómeno principal (p. ej. una distribución de restos de talla lítica en el borde sur de un campamento dedicado a la explotación de fuentes de aprovisionamiento líticas...), relacionando el modo en el que ese fenómeno variará sobre una determinada región y contribuyendo en las causas del patrón de la distribución. Aunque también es cierto que la propia distribución del fenómeno está modificando, a su vez, las condiciones de dicho entorno, por lo cual se llega a configurar un paisaje distinto a lo que existía previamente a la localización de la acción/es (procesos).

Al igual que sucede en el caso del análisis estructural, para la *autocorrelación* se deben tener en cuenta:

- La *hipótesis nula* debe estar acorde al tipo de *proceso* espacial que se pretende estudiar.
- La selección del método estadístico más adecuado, según las características de la población a estudiar y el entorno donde se desarrolle.
- La interpretación de los resultados debe ponerse en relación con la información existente en la literatura científica referida al proceso espacial estudiado.

3.3. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS ESPACIALMENTE DIFERENCIADAS.

La investigación de la variabilidad espacial arqueológica se ha limitado, en muchas ocasiones, a la identificación de sub-áreas homogéneas que se diferencian de otras áreas dentro de una determinada región del espacio físico. En el caso del análisis *intra-site*, estas sub-áreas suelen entenderse en términos de “áreas de actividad” (cf. Cap. 2), mientras que en el caso *landscape*, configuran territorios, tecno-complejos o incluso, “culturas” en el sentido más amplio del término.

Frente a este modo de investigación, que en ocasiones es adecuado, se plantea la búsqueda y determinación de *discontinuidades* existentes en una distribución espacial, configurando las *áreas* comprendidas entre los bordes o límites de dichas discontinuidades como unidades significativas, en términos del proceso espacial que generó la distribución.

Si se parte desde una serie continua compuesta por formas geométricas variadas (discretas, irregulares, regulares,...) configuradas en superficies (p.ej. desechos de talla esparcidos superficialmente) o volúmenes (p.ej. uso continuado de una estructura de combustión) que caracterizan a uno o varios procesos sociales “fosilizados” arqueológicamente, se establece el argumento por el cual a través de la determinación de los límites diédricos existente entre los diferentes restos materiales de acciones, se puede medir un determinado grado estadístico de continuidad en dicho fenómeno arqueológico, que se encuentra relacionada con un conjunto de discontinuidades o límites bien definidos (Barceló et al. 2003). Espacialmente, dicha característica se puede determinar mediante una relación estadística entre la diferencia en el valor de la variable regionalizada dependiente que define la discontinuidad en cualquier par de puntos y de su distancia (Houlding 2000:5).

Así que, para poder establecer la identificación y la diferenciación de grupos en una determinada distribución, se establecerá una asociación de dependencia entre un número determinado de localizaciones en base a una serie de condiciones (para el caso espacial métrico se realiza en función al criterio de distancias,...). La medida de asociación espacial deberá cumplir dos requisitos principales (Perry & Dixon, 2002):

- (i) Basarse en una comparación clara de las propiedades espaciales de cada conjunto de datos a comparar, de modo que aquellas características del *patrón* espacial, que coinciden en ambos, contribuirían a su asociación, mientras que en caso contrario favorecerían su disociación.
- (ii) Tener en cuenta el *patrón* espacial de cada conjunto de datos a comparar.

El protocolo más extendido a la hora de establecer una dependencia espacial es el *Análisis Cluster*, también conocido como *Análisis de Conglomerados* o *Taxonomía Numérica*. Es una técnica estadística multivariante, cuya finalidad es dividir un conjunto de entidades en un número determinado de grupos (*cluster* en inglés). La manera de proceder es sencilla, se requiere que los perfiles de las entidades en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de las entidades de clusters diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo). La hipótesis nula desde un punto de vista estadístico es la ausencia de clusterización en la distribución objeto de estudio (Lawson & Deninson 2002), lo que implicará que en términos de distancias y frecuencias las distribuciones tiendan a la homogeneidad en sus valores.

En los apartados anteriores se han establecido las pautas analíticas de la variabilidad espacial en base al análisis de 1er y 2º orden, lo que permite caracterizar el *patrón* espacial de la distribución, pudiendo de este modo, establecer una serie de hipótesis acerca del *proceso* espacial causal.

Ahora bien, la implicación más importante que aporta el análisis de la estructura y de la correlación espacial en referencia a la identificación y clasificación de las áreas espacialmente diferenciadas, es la siguiente: **si la distribución espacial de una población es aleatoria, no existe opción en la identificación de grupos/conjuntos porque no existe ninguna posibilidad de diferenciar regiones espaciales.**

Aunque esta implicación parece obvia, en bastantes ocasiones suele ser vulnerada en los casos de análisis espacial arqueológico, ya que se llegan a identificar grupos (clusters) dentro de distribuciones que incumplen la condición de *no aleatoriedad*, que significa que la identificación y determinación de áreas espacialmente diferenciables (grupos) en una determinada región, deberá realizarse después de la descripción de primer y segundo orden de la distribución. Por tanto, una vez que se haya demostrado la

no aleatoriedad y/o la auto-correlación positiva o negativa en las distribuciones objeto de análisis, entonces, se podrá realizar la identificación y clasificación.

Existen tres tendencias en el uso de la clusterización como medio analítico para la determinación de áreas diferenciadas en casos arqueológicos (Conolly & Lake 2006:168):

1. *Jerárquico*, parte desde objetos individuales generando, de manera progresiva, agrupaciones, donde todos los objetos acaba integrándose en un determinado grupo (Sokal & Sneath 1963; Sneath & Sokal 1973).
2. *Densidad*, identifica concentraciones de objetos (Silverman 1986).
3. *Partitivo*, opera desde una distribución completa, fraccionándola en un determinado número de unidades (Ball & Hall 1970).

La clusterización más usada se asocia a las implementaciones del tipo jerárquico y partitivo.

El caso de la jerarquización se fundamenta en la distancia euclídea entre puntos y el algoritmo de clusterización de vecino más próximo, operando necesariamente mediante datos coordinados. El principal problema de este enfoque es la limitación de individuos de la población ya que difícilmente se puede trabajar con más de 100 puntos, aunque los resultados que aportan este tipo de test son muy interesantes, puesto que permiten establecer asociaciones entre coordinados, generando clusters que va desde lo particular hasta lo más genérico. Se trata de un método de resolución eminentemente heurístico, ya que ofrece distintas soluciones alternativas verosímiles según el grado de información no espacial existente. En esta tesis, se reconocen y valoran positivamente las posibilidades analítico-interpretativas de dicho método.

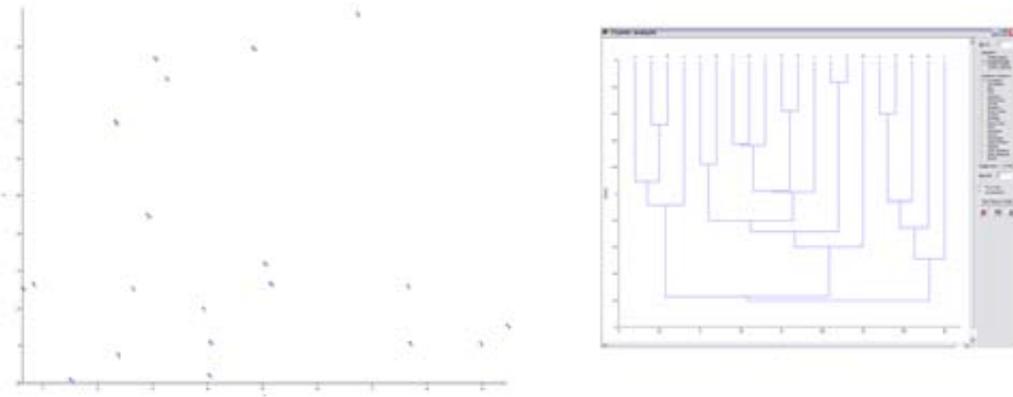


Figura 28: Cluster Jerárquico de una población aleatoria (n=20, sobre un área de 10x10) realizado en Past con distancias euclideas mediante el algoritmo: *Single Linkaje*. Destaca la separación del ítem 7 con el resto de casos debido a su localización extrema. Esto sería una primera solución de la variabilidad espacial de la distribución. En el lado opuesto, se encuentra el par de ítems 8-14.

El enfoque partitivo (⁴⁰) para el análisis cluster es el método más usado en los casos de estudios arqueológicos *intra-site*: análisis espacial heurístico k-media. Esta metodología fue aplicada por primera vez en arqueología por Doran & Hodson (1975), desarrollándose en numerosos trabajos como los de Kintigh y Amermann (1982, 1984), Simek y Larik (1983), Simek, Ammerman, Kintigh (1984), Simek (1984a, 1984b), Blankholm (1987, 1991, 1993, 1994).

Esta herramienta requiere de datos coordenados y las operaciones se realizan directamente sobre dichos coordenados (bi o tridimensionados). Destaca la naturaleza eminentemente heurística del método, lo que permite alcanzar múltiples soluciones espaciales (clusterización de la distribución), que son igualmente válidas. Por ejemplo, el caso teórico que se presenta a continuación (Barceló & Maximiano, 2007) es una agregación de cuatro poblaciones controladas en sus valores de *media* y *desviación* para un área de 10x10. El algoritmo K-medias otorga dos soluciones viables: 2 clusters (círculos en negro discontinuo) y 4 cluster (círculos con el color de cada población en continuo), siendo igualmente válida tanto una solución como la otra. El algoritmo consigue identificar y clasificar acertadamente porciones espacialmente diferenciadas en base al tipo de distribución espacial existente.

⁴⁰ Sobre las otras dos tendencias: Hierático y densidad, se recomienda ver el trabajo de síntesis en Conolly & Lake 2006 En lo que se refiere a la densidad se desarrollan contenidos en el apartado de Modelización Espacial (3.3) con la implementación arqueológica del Model clustering.

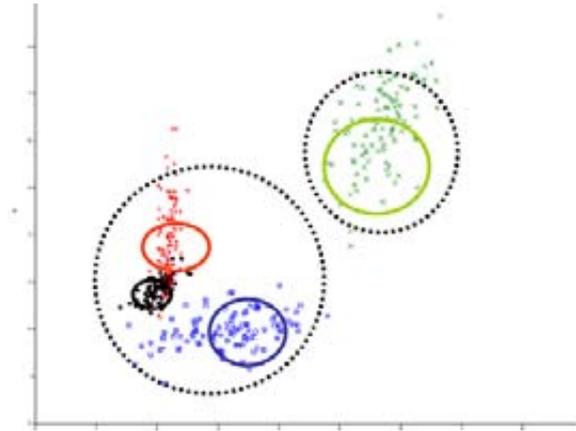


Figura 29: Distribución espacial teórica de 4 poblaciones diferentes, en donde el algoritmo establece dos conjuntos de soluciones viables (en dos conjuntos y en cuatro conjuntos), tomado de Barceló & Maximiano 2007.

La condición heurística de este método posibilita la combinación de medios analíticos sofisticados con cuestiones ajenas al propio análisis pero que son propias a la experiencia del investigador en torno al conocimiento de la variabilidad espacial investigada (p. ej. información etno-arqueológica, experimentación,...) (⁴¹).

La mecánica del algoritmo K-means es sencilla, básicamente, empieza a operar desde un grupo simple (cluster) y lo va subdividiendo (partición) en tantos cluster como sean necesarios (⁴²). Cada cluster se encuentra definido por su centro de gravedad y por los ítems asignados al mismo. El *centroide* es el punto donde se localizan las medias de x e y de todos los ítems asignados a dicho cluster. El criterio de clusterización se establece mediante el SSE, un cálculo que estima la suma para todos los objetos del análisis en base a las *distancias euclideas* al cuadrado desde cada uno de los objetos al centroide del cluster al que se encuentra asignado.

$$SSE = \sum_{i=1}^N [(x_i - x_{ci})^2 + (y_i - y_{ci})^2]$$

Donde (x_i, y_i) representa la localización de los puntos de toda la serie (n) y los valores de (x_{ci}, y_{ci}) son el centroide del cluster que contiene al punto i . Como ya se ha dicho, el algoritmo empieza desde un cluster genérico y va subdividiéndose hasta el número máximo de clusters. Este proceso se realiza mediante la rutina conocida como SPLIT

⁴¹ Para ampliar sobre K-medias, se recomienda la lectura del trabajo de H.P. Blankholm (1991) *Intrasite spatial analysis in theory and practice*. Aarhus University Press

⁴² Una guía práctica acerca del modo en como opera K-medias se encuentra en: Kinting & Ammerman (1982) y en *Arcospace* (Blankholm 1987)

mediante la cual se computa la distancia de cada punto con el centroide del cluster principal, que genera la aparición de nuevos centroides y la vinculación de los ítems que se encuentren más próximos a dichos centros, configurando la partición. El proceso se repite recolocando a cada uno de los clusters con sus nuevos centroides y concluirá cuando se ha configurado el máximo número posible de clusters.

Existen algunas limitaciones sobre este método, expuestas de manera somera, ya que la crítica a este método no es el fin de la presente tesis:

- La carencia de algún tipo de medida de asociación entre diferentes categorías.
- La tendencia a estructurar áreas circulares para definir a los diferentes cluster.
- Puede generar cluster indistintamente a la naturaleza del patrón espacial que define la población espacialmente distribuida. Este problema es muy importante, ya que en ocasiones no se aprecia la condición aleatoria de una distribución y al aplicar el algoritmo se establece particiones espaciales que por definición a la condición SCR de la población no sería posible realizar (Barceló & Maximiano 2007).

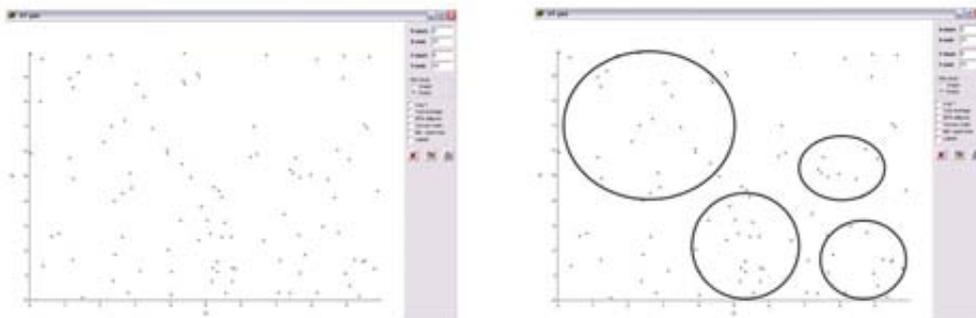


Figura 30: Distribución teórica (n=100) que cumple la condición SCR, imagen de la derecha muestra la solución heurística de dicha población con la configuración de clusters generados por K-means.

Obviamente, K-medias no es el único algoritmo partitivo que se puede usar para identificar áreas espacialmente significativas. Existen otros algoritmos que reconocen y configuran la clusterización de distribuciones y que no se han implementado en arqueología, algunos ejemplos son: PAM, PAMMEDSIL y PAMSIL (⁴³).

Existen programas comerciales dedicados exclusivamente al cálculo de clusters como pueden ser: *Cluster*, *dosclust*, *Terraseer*. Aunque suele ser bastante común que

⁴³Para conocer más acerca de estos algoritmos véase el trabajo de Kaufman & Rousseeuw 1990

cualquier software estadístico incluya operaciones de clusterización. La principal aplicación comercial de metodología cluster en arqueología se encuentra en K.W. Kintigh (1985-1988) *The Archaeologist's Analytical Toolkit*. Arizona.

La identificación y partición de áreas espaciales también se puede realizar desde la implementación de métodos utilizados en la modelización de la variabilidad espacial.

En el siguiente apartado, se tratan cuestiones referidas a la modelización, aunque esta tesis defiende la determinación de áreas espaciales diferenciadas en base al criterio analítico frente a la visualización, que en ocasiones, puede inducir a errores, motivados por cuestiones ajenas a la propia distribución. Por ejemplo, el grado de deformación de una superficie interpolada, según el criterio automático del programa aplicado o incluso, el criterio del investigador puede inducir a error en la percepción de las posibles particiones del área observada.

3.4. MODELIZACIÓN ESPACIAL

Un modelo es una representación de algún tipo de fenómeno, aunque debe tenerse presente que la modelización no es una mera analogía acerca de una fracción del mundo real, sino una representación de un sistema proyectado desde una determinada perspectiva o teoría. De tal modo, que un modelo no es una subrogación de la realidad, sino un conocimiento estructurado que se genera desde/mediante una determinada teoría de conocimiento. En esta tesis se buscan dos tipos de sintaxis en la modelización: los modelos en base a funciones matemáticas y las soluciones visuales. Se pretende mostrar la forma de la variación de una población que se encuentra espacialmente distribuida, existiendo plena complementariedad entre ambos tipos de sintaxis.

El caso de la modelización visual se puede definir como un proceso de creación de una representación geométrica acerca de la regularidad presente en los datos.

Esta modelización permite cuantificar todo un conjunto de medidas gráficas, determinados parámetros que permitirán comprender, y en ocasiones preveer, el comportamiento y la estructuración del fenómeno modelizado. Así que, la mapificación de los inputs abstractos en representaciones gráficas (punto, línea, superficie, volumen) es una manera contundente y válida a la hora de comprender la variabilidad espacial (McCormick et al. 1987; Fishwick 1995).

En casos de modelización espacial arqueológica, toda esta argumentación deberá complementarse con una serie de consideraciones que en parte provendrán desde el análisis de la distribución espacial, y también de otro tipo de conocimientos, como pueden ser fuentes de tipo etnográfico y la información aportada desde la arqueo-experimentación.

3.4.1. Visualizando la Densidad: El histograma 3D y la Densidad Kernel.

Existen diferentes niveles de sofisticación para la visualización de la densidad espacial en el caso de las nubes de puntos. La principal consideración a la hora de trabajar con datos coordinados, se centra en que no se cuenta con valores de frecuencia, condición sine qua non. El modelo visual más simple de la variabilidad espacial se

establece a través de un gráfico bidimensional de puntos, en el que se representan las localizaciones de cada uno de los eventos observados referidos a un sistema de coordenadas X, Y.

En el caso de un *campo escalar*, en el que se muestra la variabilidad de cierta propiedad cuantitativa en el espacio, la herramienta de visualización más simple es el histograma 3D, que permite explorar, intuitivamente, cómo se distribuyen las frecuencias por unidad de muestreo, permitiendo visualizar regiones con mayor o menor intensidad de restos.

El principal problema del histograma, de los varios con los que cuenta, (Bowman & Azalini, 1997) es el elevado grado de subjetividad que presenta, ya que depende de cómo se encuentre parametrizado (por ejemplo sólo variando el tamaño y número de intervalos) puede arrojar resultados muy dispares entre sí, tratándose de la misma distribución. En arqueología, lo más conveniente sería que cada intervalo x, y coincidiese con cada una de las cuadrículas del área de excavación. Esto no siempre es posible, porque las cuadrículas de excavación son muchas veces demasiado amplias (1x1 metro, 5x5 metros) y no se han consignado en el campo subcuadrículas más precisas (50x50 cm, 20x20 cm.), lo que implica que la manera en que se han adquirido los datos, condicionará el tipo de análisis a realizar.

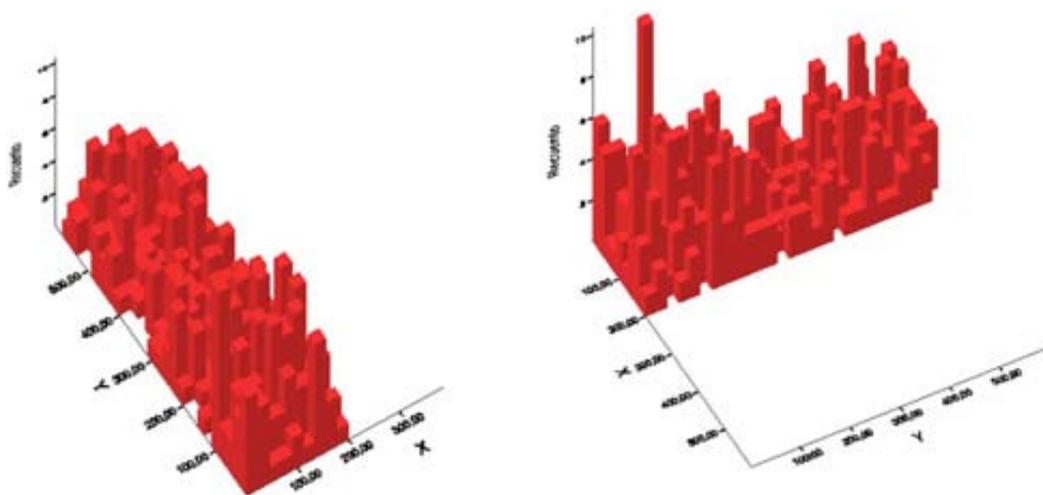


Figura 31: Representación histograma 3D de la distribución espacial a nivel de palimpsesto en el yacimiento Fortín Otamendi (n=520 y la retícula es de 50x50 cm.), visto desde ángulos diferentes.

Elaboración propia mediante SPSS

A modo de síntesis, se puede considerar que el histograma 3D es una herramienta de visualización y en cierto modo, de interpretación exploratoria pero nunca cuenta con la suficiente validez analítica.

Una medida sofisticada de la densidad, que responde a los problemas del histograma, es la técnica de estimación de densidad Kernel (KDE), que fue desarrollada a finales de los 50 (Rosenblatt, 1956; Whittle, 1958; Parzer 1962) y que es más recomendable debido a que no sólo permite visualizar la densidad espacial de la variable dependiente, sino que además, proporciona algunas herramientas de tipo analítico.

La KDE es una técnica no paramétrica mediante la cual se consigue, a través de una distribución de localizaciones (x, y), generar una función de densidad de probabilidad bidimensional. Esta solución es adecuada, ya que permite simular una superficie continua, aunque nunca debe olvidarse que es una *superficie probable* (y no real como la que refleja el histograma 3D). Existen más técnicas de interpolación como son Trend surfaces, los modelos de regresión local, el Kriging (este interpolador se tratará más adelante). Frente a aquellos, la KDE es la más apropiada en el caso de localizaciones individuales de puntos (Silverman, 1986; Bailey & Gattrel, 1995; Bowman & Azalini, 1997).

Su uso en arqueología ha sido amplio, algunos trabajos son los realizados por: Whallon, 1987; Baxter, 1994, 1999; Baxter & Beardah 1995b, 1997; Beardah & Baxter 1995; Barceló 2000,... entre otros.

Existen bastantes softwares que implementan esta función. Destaca el software libre que usa R conocido como: Bivariate Kernel Density Estimation-Free Statistics Software (Calculator) http://www.wessa.net/rwasp_bidensity.wasp. Las aplicaciones de cálculo dentro de *CrimestatIII* (software libre) y de JMP.

3.4.2. Interpolación espacial

La *interpolación* es una técnica que predice los valores que tomará la variable dependiente para un conjunto determinado de localizaciones, obteniéndose una especie de mapa probabilístico del modo en el que se encuentra distribuida la variable regional.

Mediante la interpolación se alcanza una maximización de la información disponible acerca de un fenómeno distribuido sobre una determinada región espacial.

Dependiendo del tipo de dato espacial, la interpolación se podrá calcular bien a través de una estimación de las propiedades físicas de la variación (sustentado en criterios de apariencia visual y/o composición) o mediante el uso de parámetros de forma (inclinación, irregularidad;...), que adquiera el fenómeno espacialmente variante. Existen varios métodos de interpolación, muchos de ellos tienen sentido a una escala macro y han sido desarrollados en relación a la generación automática de información geodésica, algunos ejemplos son: Triangulación de Deloné, medias móviles, inverso de la distancia.

El interpolador clásico es la *Interpolación Polinómica*, mediante la cual se puede conocer, aproximadamente, los valores que toma una función para regiones vecinas que no han sido muestreadas. De manera más formal: sea una función f de la cual se conocen sus valores en un número finito de puntos (sobre la abscisa) x_0, x_1, \dots, x_m , se llama **interpolación polinómica** al proceso por el cual se obtiene un polinomio $p_m(x)$ de grado m , cumpliendo lo siguiente:

$$p_m(x_k) = f(x_k), \quad \forall k = 0, 1, \dots, m.$$

Polinomio interpolador de grado m de la función f .

El objetivo es generar un polinomio con el que se puedan hallar aproximaciones a valores desconocidos para la función, contando para ello con una determinada precisión. De tal modo que para cada polinomio interpolador se dispondrá de una fórmula del error de interpolación que permitirá ajustar la precisión del mismo. Existen múltiples métodos de interpolación polinómica como: *Lagrange*, las diferencias divididas de *Newton*, la interpolación de *Taylor*, la interpolación por *Splines*,...

Uno de los métodos de interpolación más usado es el *Trend surface analysis*. Básicamente, es un método análogo al análisis de regresión pero en 3D. En este tipo de análisis se asume que la variable espacial z es la variable dependiente, mientras que las coordenadas x e y son las variables independientes. La ecuación, que relaciona las variables independientes frente a la dependiente en el *trend surface*, es:

$$z = f(x,y) = a + bx + cy$$

Dependiendo del grado del polinomio, la salida gráfica de la superficie interpolada será diferente (1 = plano, 2 = elevación o depresión simple, 3 = superficie cúbica,...).

Una de las ventajas de este método es que posibilita trabajar con los residuos (la distancia de observaciones en la superficie) para obtener una estimación de cómo se configura la superficie resultante en base a los datos (Wheatley & Gillings, 2002:189) analizados.

Las aplicaciones de esta metodología en arqueología han sido variadas. El referente fundamental es el trabajo de Hodder & Orton (1976), donde se describe la técnica y presentan una serie de casos de estudio. Otros trabajos en la literatura arqueológica son los de Bove (1981), Kvamme (1990d), Neiman (1997),... entre otros.

Una alternativa a la interpolación “clásica” es la implementación de *superficies estocásticas*, en donde se tiene en cuenta la presencia de cierto grado de incertidumbre sobre la variable espacial tratada (Matheron 1971). Esto lleva a definir la variabilidad espacial en términos de: componente estructural, componente aleatoria y error residual.

Esta aplicación no es muy usada en arqueología debido a que generalmente la totalidad del área muestral se encuentra muestreada, con lo que no tiene mucho sentido aplicar superficies estocásticas.

3.4.3. Modelización de la tasa de cambio: Gradiente espacial

El término gradiente se asocia a la noción de: “...*variación de la tasa de cambio espacial de un fenómeno por unidad de distancia entre un lugar y un centro (o un eje) dado...*” (cf. Capítulo 1). La gradación espacial de un determinado fenómeno es la expresión de cómo la *variable regionalizada* cambia según los valores que toma en las localizaciones vecinas. Esto implica que el gradiente determina la continuidad espacial sobre un conjunto de localizaciones que tienen una tasa de cambio parecida, llegando a establecer regiones diferenciadas en base a la intensidad de cambio en los valores de la *variable regionalizada*.

Por tanto, se pueden aproximar a las discontinuidades existentes en un patrón espacial identificando la tasa de cambio que muestre el gradiente. La técnica es muy utilizada en análisis de imágenes, pero también, puede aplicarse en el análisis espacial, ya que en ambos casos, se trata de *campos escalares* en los que se intenta distinguir el contorno o límite de un área internamente homogénea y que se encuentra diferenciada de las áreas vecinas.

El algoritmo más usado para obtener el gradiente es el de *primera derivada*, aunque pueden utilizarse una gran cantidad de métodos equivalentes (Para ampliar sobre este temática, se recomienda el trabajo de Sonka *et al* 1993).

3. 5. INTERPRETACIÓN CAUSAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL

3.5.1. La relación entre procesos

La naturaleza formal del problema espacial en arqueología es: *¿Por qué X está donde está?* La respuesta es simple: *porque Y está allí.* (cf. Cap. 2), es decir, existe un tipo de relación entre las entidades *X* e *Y*., o en otros términos: *¿Por qué* la localización de un evento está *relacionada* con la localización de otros eventos?

Esta argumentación puede parecer obvia y de hecho la percepción de determinadas relaciones espaciales pueden ser descritas e interpretadas en base a un criterio de observación ajustado y a un adecuado grado de experiencia. Sin embargo, en muchas otras ocasiones, reconocer y establecer la medida cuantitativa de la relación entre entidades es algo complejo.

La interpretación causal de la variabilidad espacial se centra en *cómo* las diferencias en la localización de los efectos de una acción *a* están determinados o condicionados por las diferencias en la localización de los efectos de otras acciones: *b, c, d, etc.*, así como de las diferencias temporales entre los distintos momentos en que *a, b, c, d,...* tuvieron lugar.

Para establecer la dirección de la causalidad (qué acción influye en qué otra/s) se parte del supuesto por el cual una acción social (o evento bio-geológico) influirá (atraerá o repulsará) en la localización de los efectos materiales de otra acción o conjunto de acciones.

La premisa fundamental establece que dos procesos espaciales estarán asociados (relacionados) cuando sus distribuciones espaciales tengan algo en común. Dado que no todas las formas de asociación son iguales, ni el análisis espacial opera desde un único y mismo nivel, es necesario comentar las diferencias conceptuales entre los términos de relación y semejanza.

Por *semejanza* se define a la asociación entre *localizaciones* concretas: se produce al observar cosas distintas en distintas ubicaciones del *espacio físico* (o de otro espacio referencial). Mientras que *relación* es una asociación entre *procesos espaciales*: las acciones (depositacionales o post-depositacionales) que generaron una población de elementos materiales espacialmente asociados.



Según lo anterior, cabe preguntarse: ¿Cómo se sabe si un proceso o una distribución se encuentran espacialmente asociada con otra? La respuesta se establece por medio del contraste entre la *hipótesis de independencia teórica* (no existe relación entre las dos poblaciones espacialmente distribuidas) con el *valor empírico* que proporcionan las distribuciones. Además de dicho contraste, se parte de las siguientes consideraciones:

- Dos o más distribuciones son semejantes, cuando la mayoría de sus localizaciones sean comunes, aunque no lo sean todas. Por consiguiente, aunque no aparecen siempre en el mismo lugar son semejantes porque algunas localizaciones están compartidas.
- Dos o más acciones estarán asociadas espacialmente (se relacionarán la una con la otra) cuando su intencionalidad espacial pretenda que la localización de una acción sea coincidente con la localización de los efectos materiales de la otra acción (*atracción*) o bien, la localización de una evita la localización de los efectos materiales de la otra (repulsión).
- Dos eventos son independientes si la ocurrencia (o no ocurrencia) de uno no afecta la probabilidad de ocurrencia del otro.

Los corolarios que estructuran una relación espacial se sintetizan en:

- i. Si dos acciones están dirigidas o enfocadas de manera espacialmente congruente, sus distribuciones espaciales no serán independientes, sino que estarán relacionadas y existirá un grado de dependencia entre ambas.
- ii. Si dos (o más) fenómenos o procesos se encuentran relacionados entre sí, las distribuciones espaciales que los definen varían conjuntamente: coinciden en

un mismo punto (relación positiva) o se evitan (relación negativa). Esto genera una dependencia espacial entre ambos.

- iii. Si existe relación espacial entre procesos, se puede estimar la localización de las consecuencias materiales de una acción en términos de la distribución espacial de las consecuencias materiales de otras acciones.
- iv. Si un proceso espacial no afecta para nada a la probabilidad de localización de otro proceso, entonces, ambos procesos serán independientes.

Matemáticamente, la relación espacial entre procesos pretende determinar qué proporción de localizaciones generadas por una determinada fenomenología (A) aparecerán en las inmediaciones de las localizaciones de otro fenómeno (B) (relación positiva) o por contrario, qué proporción de localizaciones de A se alejarán (intencionalmente) de las localizaciones de B (relación negativa).

Es importante tener en cuenta que para poder entender una asociación, es completamente necesario contar con información acerca del mecanismo que la causó y no establecer un juicio mediante la mera observación de localizaciones en común. Aquí radica la verdadera naturaleza de la interpretación espacial en arqueología, ya que sólo se podrá explicar las evidencias arqueológicas si se parte desde un conjunto de hipótesis acerca de *cómo* una acción provoca en otra un proceso de variación conjunta, opuesta o no exista influencia entre ambas.

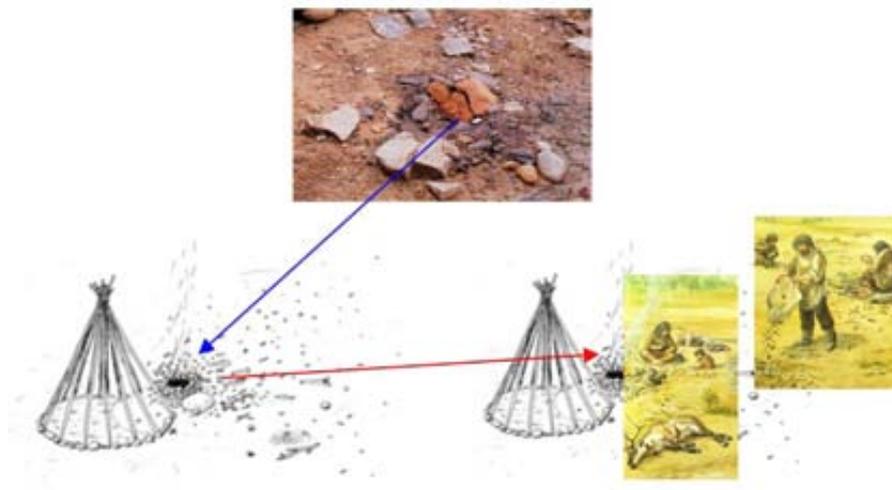


Figura 32: Fotomontaje en donde se muestra el proceso de interpretación espacial.

En base a lo expuesto, la distribución espacial observada se relaciona con la expresión concreta de la acción (social o natural) o el *proceso de trabajo* que la causó y que la configuró bajo una determinada estructura espacial. También, es importante tener en cuenta que la resolución de este problema va más allá de las cuestiones estrictamente espaciales, teniendo que incluir necesariamente la dimensión temporal.

Si la ley de Tobler es cierta: “...*Near things appear to be more related than distant things...*”, la noción de proximidad o vecindad debe tener un sentido espacio-temporal y no sólo espacial. Esto es así debido a que la sincronización en la ejecución de series de acciones en unas mismas localizaciones, podría provocar un notable incremento en la frecuencia de sus efectos sobre/en determinadas regiones, configurando con ello un área diferencial (*región común*).

La intencionalidad espacial de las acciones sociales puede explicarse en términos de influencia espaciotemporal, ya que una acción que se realizó en una determinada localización, puede generar la reproducción de acciones similares/diferentes que se encuentren espacialmente próximas (en la vecindad) y sucedidas temporalmente.

Así que, algunas de las acciones realizadas en la vecindad de una localización pueden provocar el cambio en la ubicación de determinadas acciones o fomentar la recurrencia espacial de determinadas acciones sobre un conjunto de localizaciones concretas.

Con ello, lo que se resuelve es si lo acontecido en una localización es la causa de lo sucedido en localizaciones vecinas (Barceló 2002).

La interpretación de la variabilidad espacial pretende contrastar si las características existentes en una localización espaciotemporal están relacionadas con las características existentes en las localizaciones vecinas, estableciendo un discurso explicativo (modelo) sobre la dependencia espaciotemporal. Con todo ello, se pretende dar respuesta a:

- ¿Cómo la distribución *espacial* de una acción influye sobre la distribución *espacial* de otras acciones?
- ¿Cómo la secuencia *temporal* de una acción influye sobre la distribución *espacial* de otras acciones?
- ¿Cómo la secuencia *temporal* de una acción influye sobre la distribución *temporal* de otras acciones?

- ¿Cómo la distribución *espacial* de una acción influye sobre la distribución *temporal* de otras acciones?

3.5.2. Análisis Espacial Multivariante.

En arqueología se suele emplear el análisis multivariante de correspondencias cuando se investiga cuestiones relacionadas con la correlación espacial entre diferentes poblaciones distribuidas en el *espacio arqueológico*. Algunas implementaciones de esta metodología son los trabajos de Whallon 1984; Baxter 1994; Djindjian 1992, Roberson 1999;..., entre otros. Este tipo de análisis opera mediante frecuencias espaciales, que representan la intensidad del proceso en distintos lugares del espacio. El objetivo de esta técnica estadística es transformar una tabla que indica las frecuencias de aparición de distintas evidencias en distintos lugares del *espacio físico* en una representación gráfica, que facilite la interpretación espacial de la relación entre los procesos que generaron esas frecuencias espaciales.

Este método es válido para la determinación de relaciones espaciales cuando las categorías de análisis son nominales y donde realmente no se pone de manifiesto la complejidad de la dinámica de repulsión/atracción. Por ejemplo, establecer la relación cualitativa entre la variabilidad morfofuncional (tipología) de los artefactos y la variabilidad espacial (conjuntos) con la que aparecen dichos artefactos, no aporta mucho acerca de qué tipo de entidades (vinculadas a unas series de acciones) influyen sobre otras, es decir, espacialmente sólo describe unas asociaciones que son impuestas por las características del análisis sin determinar las implicaciones espaciales.

Por otro lado, este análisis sólo opera bajo *campo escalar*, aunque esto no sea un problema grave ya que siempre se puede convertir de coordenados a frecuencias. Sin embargo, sí puede ser un conflicto la indeterminación sobre determinados comportamientos espaciales, que serían mejor percibidos y comprendidos si se realizan en base a la representación de la nube de puntos que a la transformación en un campo escalar.

El análisis multivariante de correspondencia establece una relación estática donde la relación entre variables espaciales responde a un único criterio: si dentro del gráfico dos variables se encuentran alejadas, no existe relación, conforme mayor sea la proximidad, mayor intensidad en la relación. Ese tipo de interpretación espacialmente es muy básica,

ya que no alcanza a considerar la variabilidad espacial de los procesos. En ocasiones, una relación espacial entre variables puede oscilar en función de los cambios de posición de una frente a la otra, de la presencia de determinadas circunstancias en el medio donde ambas variables interactúan,..., que a través de un gráfico de correspondencia no se pueden apreciar.

En base a los contenidos y planteamientos de esta tesis, se propone el análisis multivariante mediante el enfoque que se ha implementado desde la Ecología forestal para el estudio de la variabilidad espacial.

Las cuestiones que atañen a la variabilidad espacial son un referente básico en Ecología forestal y ello ha potenciado el análisis espacial estadístico procedente de otras ramas científicas. Esta dinámica es la que ha provocado una revolución no solo en los métodos sino también en la reflexión acerca de cómo abordar la problemática espacial.

Del mismo modo que en Ecología forestal, en arqueología se inició una renovación en la década de los 70's, que según palabras de C. Orton (Orton 2005), fue truncada debido a la aparición de las técnicas de descripción y visualización espacial, asociadas a las bases de datos georeferenciadas (GIS) y al desarrollo de la corriente teórico-interpretativa post-procesualista.

El análisis espacial multivariante puede aplicarse tanto en campo escalar como en el caso de datos coordinados. El resultado es una cuantificación del grado de interacción espacial que pueda existir entre (como mínimo) dos *series* espacialmente distribuidas.

Para ello, se parte de una *hipótesis nula* (H_0) en donde los miembros de una serie (S_1) se encuentran localizados de manera independiente a los miembros de otra serie (S_2).

Según esto, los resultados posibles son:

- *Ausencia* de interacción espacial, lo que significa que una serie no tiene nada que ver con la otra.
- *Repulsión* espacial, si una serie muestra una tendencia, la otra seguirá una tendencia inversa.
- *Atracción* espacial, si una serie muestra una tendencia espacial, la otra muestra una predisposición espacial muy parecida

En el caso de coordenados se cuenta con una serie de herramientas analíticas como son el cálculo del vecino más próximo bivariado (Hamill & Wright, 1985; Gibson & Menges, 1994; Busing, 1996), la técnica SADIE (Perry & Dixon 2002). Destaca el caso de la extensión bivariada de la función $K(d)$ de *Ripley* (Lotwick & Silverman, 1982) debido a su relativa sencillez y la validez en sus resultados. Esta función $K_{12}(d)$ realiza el cómputo del número de puntos de la serie 2 que se encuentran a una distancia menor o igual que d respecto de cada punto de la serie 1. La hipótesis de independencia espacial entre ambas series de puntos es comprobada mediante simulación de Monte Carlo, mediante traslaciones toroidales aleatorias de los puntos de la serie 2 (Upton y Fingleton, 1985). Como en el caso univariante, los resultados pueden ser convertidos en una función, estableciéndose la interpretación mediante una representación gráfica. Así que, cuando $L_{12}(d)-d$ sea significativamente mayor que cero, existirá atracción espacial entre ambas series de puntos y cuando el resultado sea significativamente menor que cero, estará indicando la presencia de repulsión.

En el caso del análisis de frecuencias, se suele emplear la técnica conocida como *test de Mantel* (Mantel 1967), que estima el grado de correlación existente entre dos matrices: X e Y . Normalmente, el test se interpreta desde el índice Z , que se expresa como un índice normalizado, que varía entre -1 y $+1$, donde valores próximos a 0 muestran independencia, valores que tiendan a $+1$ indican atracción y valores con tendencia a -1 indican repulsión.

Ahora bien, las dos matrices empleadas para el cálculo del test: ¿Con que tipo de datos se elaboran? ¿Cómo se pueden relacionar?

A modo ilustrativo, se pone como ejemplo arqueológico, el caso de una *necrópolis* espacialmente muestreada (localización e identificación de tumbas), donde el estudio de la variabilidad espacial se puede elaborar mediante una matriz de distancias sociales (X) basada en la diferenciación sexual de las tumbas, según la hipótesis por la que según el sexo del individuo se ocupará los enclaves más visibles de toda la necrópolis.

Si se usa un coeficiente adecuado de asociación entre esas localizaciones (X) y se comparan con una matriz de distancias físicas, obtenida de forma independiente, entre variables topográficas medidas en esas mismas localizaciones (Y), se puede medir la relación espacial que existe entre las variables.

La hipótesis nula (H_0) postula que las divergencias/similitudes entre las variables de la matriz respuesta (Y) no están linealmente correlacionados con las correspondientes distancias/similitudes en la matriz modelo (X). Se trata, por tanto, de evaluar si la asociación (positiva o negativa) es más robusta de lo que cabría esperar por puro azar (López de Luzuriaga & Olano, 2006).

Si los resultados muestran independencia entre variables $Z = 0$, se estará demostrando la falta de interacción entre variables, con lo cual la localización de la tumba no está en función al sexo del individuo y se vincula a un proceso azaroso.

Si los resultados muestran dependencia (interacción) entre las matrices de distancias, entonces, se confirma que la ubicación de las tumbas estará en función a alguno de los sexos. Según se haya definido cada sexo, se puede dar el caso en el que, si:

$Z > 0$ Demostraría que la localización de la tumba está en función al sexo femenino.

$Z < 0$ Demostraría que la localización de la tumba está en función al sexo masculino.

Aunque se parte desde el enfoque de la Ecología forestal para el estudio de problemas espaciales, la variabilidad espacial arqueológica cuenta con una serie de particularidades que impiden la acción directa de los métodos de análisis espacial, implementado en esta rama de la ecología. Aunque por otro lado, es cierto que la aplicación del análisis multivariante de correspondencias (visto más arriba) no es capaz de determinar la verdadera naturaleza de la interacción espacial existente entre diferentes series espaciales.

El principal problema del análisis multivariante en el *espacio arqueológico* radica en encontrar las relaciones entre acciones, evitando realizar el análisis en función a los restos materiales del registro arqueológico, ya que éstos sólo describen.

Si el análisis de multivariación se realiza sobre acciones localizadas en el *espacio arqueológico*, se podrá medir la relación espacial entre acciones en base a los efectos materiales causados por ellas. Esto permitirá mostrar el tipo de relación espacial existente en una región determinada sobre un conjunto de acciones concretas: algunas se atraerían entre sí, otras se evitarían y probablemente, algunas no mostrarían relación espacial con las demás. Por ejemplo, la limpieza de algunos restos causados por unas acciones concretas (actividades asociadas al consumo de alimentos, actividades

asociadas a la procesado de instrumental lítico,...) pueden deparar en una dinámica espacial donde la ausencia de esos restos en unas subáreas (dedicadas a otras funciones) se contraponen a la presencia de los mismos sobre otras subáreas. Analíticamente, esta variabilidad espacial en la localización de determinados restos materiales está mostrando la atracción de las acciones de limpieza sobre unas localizaciones concretas y una relación espacial:

- *Positiva* (atracción) entre determinadas series espacialmente distribuidas, como por ejemplo: la distribución de huesos de mamífero y los desechos de talla.
- *Negativa* (repulsión) entre determinadas series espacialmente distribuidas, como por ejemplo: la distribución de huesos de mamífero quemado y la ausencia de esos restos alrededor de las termoalteraciones (hogares).

Desde esta perspectiva, se puede establecer la relación espacial entre acciones en base a una porción de sus efectos materiales. La solución del multivariante es clave en la resolución de estos problemas espaciales, puesto que a través de la determinación de las relaciones espaciales entre conjuntos de acciones, se puede definir las características funcionales de diferentes espacios.

Por tanto, se estaría asignando la funcionalidad de un espacio en base al tipo de relaciones de atracción/repulsión/neutralidad, que existan entre series de acciones realizadas en dicho espacio, evitando con ello, definir la funcionalidad espacial en base a los conjuntos de restos materiales diferenciados y espacialmente identificados en grupos, mediante diferentes tipos de clusterización.

Capítulo 4

ANÁLISIS ESPACIAL DE POBLACIONES TEÓRICAS.

Índice General

INTRODUCCIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES ALEATORIAS.

4.1.1. Análisis de Primer Orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar.

4.1.2. Análisis de Segundo Orden: Estructura & Correlación espacial.

4.1.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio.

4.2. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES AGREGADAS.

4.2.1. Análisis de Primer Orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar.

4.2.2. Análisis de Segundo Orden: Estructura & Correlación espacial.

4.2.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio.

4.3. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES UNIFORMES.

4.3.1. Análisis de Primer Orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar.

4.3.2. Análisis de Segundo Orden: Estructura & Correlación espacial.

4.3.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio.

4.4. CONSIDERACIONES.

INTRODUCCIÓN

A nadie veo en el camino, dijo Alicia.
¡Ya me gustaría a mí tener esa vista!, comentó el rey,
¡para ser capaz de ver a *Nadie*!
¡Porque, con esta luz, me cuesta incluso ver gente real!
L. Carroll,
Alicia en el País de las Maravillas

La elaboración de modelos de distribuciones que puedan representar el comportamiento teórico de diferentes fenómenos espaciales es una necesidad básica para la comprensión de la variabilidad espacial en casos reales. Ya que través de esas construcciones teóricas es como mejor se puede experimentar sobre determinados aspectos que la realidad no permite.

Por otra parte, el uso de modelos resulta extremadamente útil (siempre que se corresponda con la realidad que pretende representar) ya que pone de relieve las propiedades más importantes de la entidad modelizada, aunque sea a costa de la simplificación que implica toda modelización.

En la práctica existen una serie de leyes de probabilidad teóricas, como son la ley de Poisson, asociada a un proceso espacialmente azaroso. La normal bivariada, donde se define un proceso espacialmente intencional con tendencia a la concentración. La exponencial, que viene a representar procesos de acumulación en una región espacial,... Todos estos modelos, sirven para representar procesos empíricos poco complejos y que se dan con mayor frecuencia. La comparación entre los resultados de las teóricas frente a las empíricas permite establecer algunas consideraciones sobre la fenomenología espacial observada.

En las siguientes páginas se ha seleccionado tres tipos de poblaciones teóricas que representa diferentes procesos espaciales, mediante el análisis de las mismas se puede experimentar sobre determinados aspectos que en el caso de una distribución empírica en ocasiones no es posible (conversiones de datos, introducir distorsiones de manera controlada, redefinir parámetros según los resultados analíticos,...) Esas circunstancias

pueden ocurrir en los casos reales de poblaciones arqueológicas espacialmente distribuidas en un yacimiento.

La principal ventaja de modelizar es que al conocer como determinados parámetros varían en los casos teóricos, se podrá re-definir determinadas cuestiones (tamaño de retícula, formato de datos, significancia de las pruebas,...) en los casos reales.

4.1. ANALISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES ALEATORIAS.

En las siguientes páginas se realiza el análisis estadístico de la variación espacial en un **proceso espacialmente aleatorio**. Se ha seleccionado la distribución *Poisson bivariada* para representar dicho proceso, que define al conjunto de localizaciones distribuidas en un área muestral donde la probabilidad de ocurrencia en una localización es independiente de lo que se haya producido en las localizaciones vecinas.

El conjunto de localizaciones que cumplan la condición anterior, necesariamente se distribuirán de manera aleatoria en el espacio, con lo cual el supuesto de partida se basa en que una población será *aleatoria* cuando no se registre **dependencia espacial** entre los puntos pertenecientes a dicha población, lo que implica que una distribución será azarosa cuando cualquier lugar del espacio tenga la misma probabilidad de ser ocupado por una *entidad*, sin que esta ocupación afecte la ubicación de otras *entidades* pertenecientes a la misma población. En este tipo de distribución, se cumple que los valores de media (x) y varianza (S^2) son iguales.

Por tanto, los supuestos realizados sobre la simulación de poblaciones aleatorias de las recurrencias percibidas sobre determinadas regiones del área muestral serán netamente azarosas y por tanto, cuadrangularmente distribuidas alrededor de la media central. Por ello, lo más probable, es que la serie construida mediante un generador de números aleatorios, sea simétrica.

También, se tiene en cuenta que una distribución espacialmente aleatoria puede haber sido generado tanto por un proceso no intencional como por un proceso intencional, cuyo objetivo sea la distribución azarosa (por ejemplo, la siembra de cereales conocida como *a boleo*) o bien ser resultado de una combinación de múltiples procesos distintos

no relacionados que in extremis han generado la aleatoriedad espacial. Estas consideraciones tienen bastante relevancia a la hora de investigar la distribución espacial de una población de restos arqueológicos, ya que en ocasiones se desordena intencionalmente restos materiales que previamente fueron distribuidos en el *espacio físico* con algún tipo de dependencia espacial, llegando a percibir la aleatoriedad en la distribución de restos, no porque la acción que produjo dichos efectos fuera espacialmente aleatoria, sino que la última acción que re-distribuyó aquellos restos sí generó una aleatoriedad espacial (por ejemplo, remover escombros o basura puede deparar en una aleatorización de los restos del basural).

En ocasiones, la acción no tiene una intencionalidad espacial y por consiguiente, las consecuencias materiales no se localizan en un lugar concreto del *espacio físico*, sino que se distribuye aleatoriamente en toda el área afectada por el proceso espacial, lo que demuestra la tendencia a la homogeneidad en el espacio donde se realiza la acción, ya que dará lo mismo donde se encuentre ubicado.

En el siguiente análisis, se realiza el análisis dos poblaciones espacialmente aleatorias ($n=100$ y $n=1000$) distribuidas en un área de 10 metros x 10 metros.

Se ha utilizado un generador de datos aleatorios (Stat4) con el que las poblaciones generadas cumplen con la condición de la distribución *Poisson bivariada*.

La población ha sido generada mediante *datos coordenados* (x, y) y las distribuciones de puntos han sido convertidas a *campos escalares* a través del cálculo de tablas de contingencia en las que el número de filas corresponde al número de cuadrículas en el eje Y, y las columnas, al número de cuadrículas en el eje X.

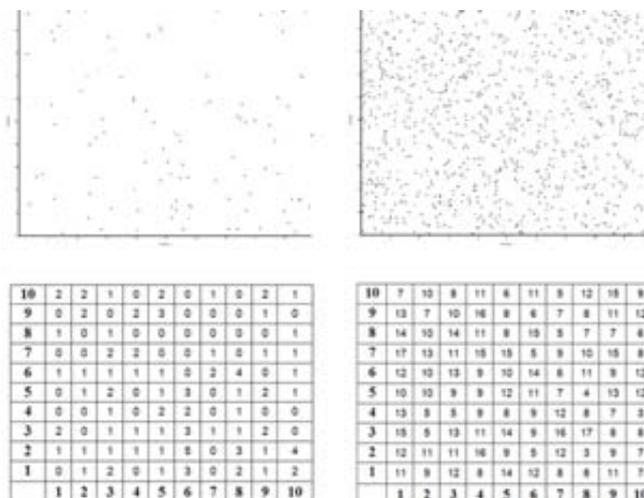


Figura 33: Distribución de puntos (arriba) y tablas de contingencia (abajo) de las poblaciones; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Esta dualidad en los datos (coordenado y campo escalar) posibilita la realización de la batería de test y las herramientas de modelización espacial propuestas en el capítulo 3. Todo ello, permitirá conocer tanto los parámetros de la *estructura* y de la *correlación* espacial, como la modelización de las poblaciones objeto de estudio.

4.1.1. Análisis de primer orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar

VISUALIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

El primer paso en el análisis de la variabilidad espacial consiste en la visualización de la *regularidad/irregularidad* de la distribución observada. Se parte del supuesto por el cual una distribución es *regular* cuando las observaciones se distribuyen con tendencia a la homogeneidad en toda el área de estudio.

Mediante el histograma 3D, se puede visualizar las **frecuencias** espaciales (en este caso sobre una retícula de 1x1), que supone una aproximación de *cómo* es la variabilidad de la distribución.

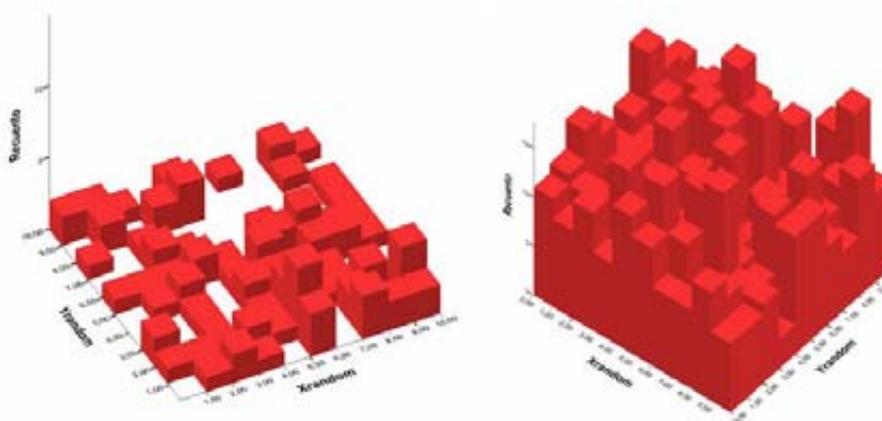


Figura 34: Histogramas de las poblaciones; n=100 a la izquierda, n=1000 a la derecha.

Por otro lado, el uso del método KDE permite visualizar la *regularidad* en una **nube de puntos**, pudiendo establecer *isolíneas* que relacionan valores similares en diferentes localizaciones.

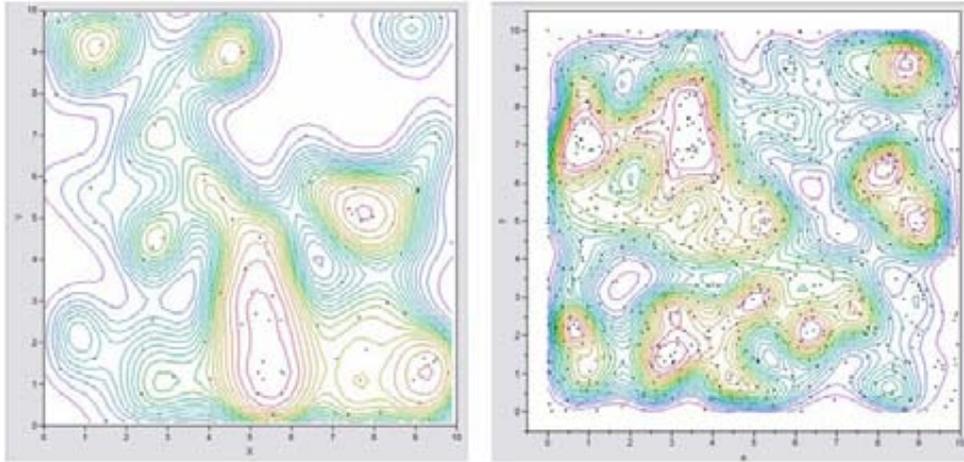


Figura 35: Densidad Kernel en 2D; $n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha.

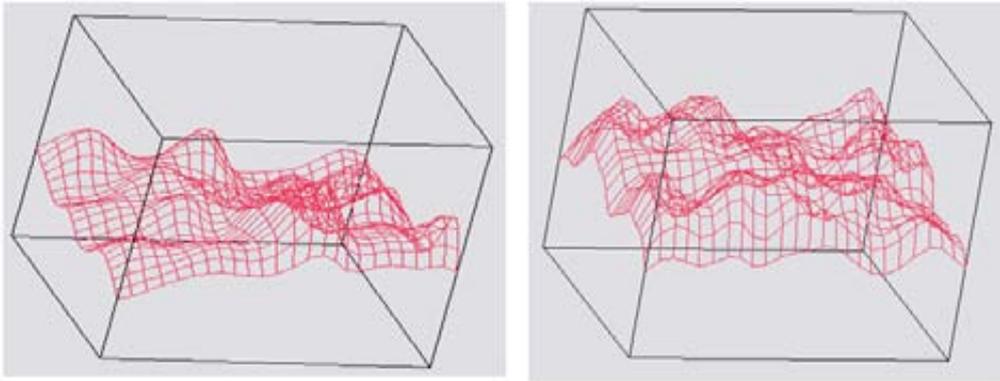


Figura 36: Densidad Kernel en 3D; $n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha.

La visualización de las poblaciones permite observar cómo en un proceso espacialmente aleatorio aparecen concentraciones y zonas relativamente vacías, causadas por un proceso netamente azaroso. Se confirma que tanto la presencia de concentraciones como de disgregaciones espaciales, no sigue ningún tipo de relación espacialmente significativa. Esto implica la posibilidad de ubicar cualquier evidencia en cualquier lugar del área muestreada⁴⁴.

⁴⁴Un aspecto distinto sería que en el interior de esas concentraciones/disgregaciones existiera algún tipo de comportamiento espacial diferente al azar, aun siendo la aleatoriedad la causa principal de su ubicación en esas localizaciones.

A partir del análisis visual, se puede *considerar* que:

- i. Ante el incremento de n (sin variar el tamaño de la superficie), la *regularidad* y la tendencia a la *dispersión* (ocupar todas las posibles localizaciones del área muestreada) son más acusadas.
- ii. No existen relaciones entre localizaciones próximas. Esto se percibe visualmente en la elevada oscilación (abrupto), que presenta la superficie (o volumen) de densidad espacial. Las concentraciones visualizadas no se pueden atribuir a un comportamiento espacial ajeno a la aleatoriedad, ya que no existe tendencia alguna en relación a las localizaciones vecinas. Esto es así, puesto que la recurrencia de observaciones en una misma área, así como su densidad, puede ser mayor o menor, pero siempre de manera irregular. Así que, los valores más altos y más bajos de las acumulaciones no dependen ni de la frecuencia espacial, ni de la densidad de localizaciones en áreas próximas, sino de la naturaleza del proceso espacial, que conlleva una irregularidad en el modo en el que se encuentran distribuidas las observaciones sobre el área muestral.
- iii. Cuanto mayor es el número de observaciones, (mayor frecuencia espacial), manteniendo la dimensión del área espacial, la aleatoriedad de la distribución es más compleja de visualizar, ya que se va difuminando hacia una tendencia a la regularidad de los valores por unidad de superficie.

Tanto la primera como la tercera consideración, se visualizan mejor si se comparan entre sí poblaciones espacialmente aleatorias extremas ($n=10$ y $n=10000$) siempre en la misma escala espacial de 10 metros x 10 metros.

Este ejemplo permite visualizar la dinámica en distribución de poblaciones aleatorias bajo circunstancias, en las que el número de observaciones es muy reducido (imagen izquierda) y muy elevado (imagen derecha).

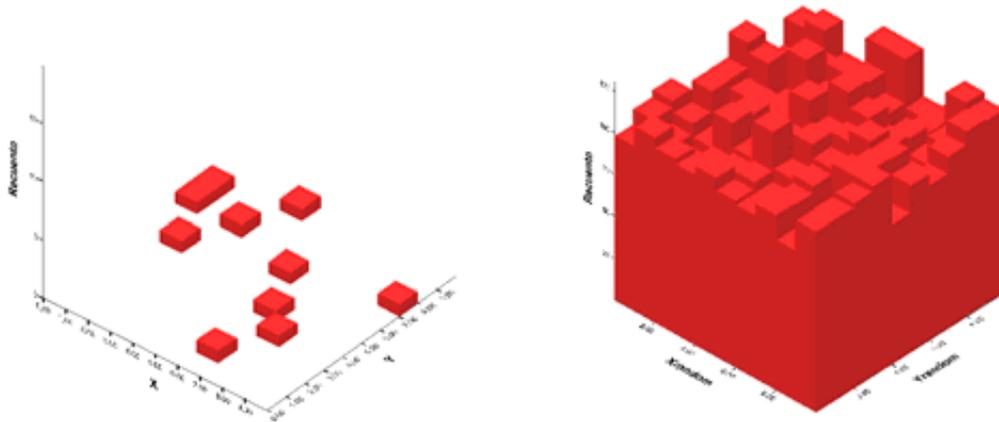


Figura 37: Histogramas de las poblaciones; $n=10$ a la izquierda, $n=10000$ a la derecha.

A través de la visualización de estos dos supuestos teóricos, se puede contrastar que cuanto menor es la población (menos observaciones), la tendencia a la irregularidad en las acumulaciones será mayor, ya que no existe predisposición a ubicarse en una determinada localización dentro del área muestral, esto es, la esencia de la aleatoriedad espacial.

Por contra, cuanto mayor sea la población, la tendencia a la irregularidad en las acumulaciones será menor, mostrando una *pseudo* tendencia hacia la semejanza o uniformidad en la distribución espacial. Esta consecuencia es lógica, ya que al ser una densidad muy elevada sobre una determinada superficie, la agregación de localizaciones (por muy aleatorio que sea el proceso espacial, que la generó) acabará recurriendo, necesariamente, a una serie limitada de localizaciones.

DESCRIPTORES BÁSICOS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

Una vez establecida la visualización, es conveniente realizar una serie analítica que sirva para describir, de manera elemental, la distribución espacial observada.

Lo ideal es realizar ese análisis contando tanto con datos *coordinados* y datos de *campo escalar*, de ese modo el análisis será completo. Por supuesto, no se debe olvidar que los datos de *campo escalar* albergan una distorsión en base al tamaño de la unidad muestral (retícula) empleada (para todas las pruebas se usa la retícula de 1×1).

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

Si el proceso espacial afecta a la totalidad del área estudiada, la localización del punto central de la distribución observada debe coincidir con el centro geométrico del área espacial prospectada. La diferencia entre el punto central de la distribución y el punto central del área se debe interpretar en términos de la escala en la que el proceso espacial tuvo lugar.

En el caso de *coordenados*, el punto central de la distribución corresponde a la media de las coordenadas de todos los puntos:

DESCRIPTORES	n = 100		n = 1000	
	X	Y	X	Y
Mínimo	0,033	0,094	0,001	0
Máximo	9,88	9,92	9,957	9,989
Media	5,21	4,42	4,77	5
Media Geométrica	3,92	2,98	3,339	3,64
Media Armónica	1,17	1,35	0,57	0,05
Centro de Dist. Mínimas	5,21	4,42	4,77	5

Tabla 1: Medidas de centralidad de las poblaciones aleatorias datos coordenados.

En el caso de *campo escalar*, el punto central de la distribución corresponde a la media ponderada de las coordenadas de las cuadrículas:

	X (n=100)	Y (n=100)	X (n=1000)	Y (n=1000)
Media	5,74	4,9	5,58	5,49

El punto central debería ser el mismo que el centro de distancias mínimas, que en este caso debido al área muestral de 10x10m., sería x: 5,5; y: 5,5. El resultado es diferente debido a que las frecuencias espaciales distorsionan la medida en base a la ponderación de las retículas y el tamaño muestral de las mismas, siendo lógica la dislocación con el centro geométrico del área de estudio.

MEDIDAS DE REGULARIDAD.

Es más sencillo valorar el grado de irregularidad en términos de *frecuencia* espacial que en base a la *nube de puntos* de la distribución observada, aún asumiendo un determinado grado de distorsión. La distribución será *regular*, si todas las cuadrículas presentasen un valor de frecuencias bastante parecido. Por otro lado, si la serie está espacialmente normalizada, teóricamente la mayoría de las cuadrículas deben tener un valor próximo a la *media* y la minoría tendrán valores más altos y/o más bajos que la *media*. Así que, en el caso de *coordenados*, lo único que se calcula es la densidad media por metro cuadrado:

	n= 100	n= 1000
Densidad media de puntos /m2	1,03	10,05

En el caso del *campo escalar*, se cuantifica *cómo* varía la frecuencia entre todas las cuadrículas:

	Frec. (n = 100)	Frec. (n = 1000)
Mínimo	0	3
Máximo	5	17
Moda	0	8; 9; 11 (trimodal)
Media	1	10
Desviación	1,05	3,27
Media Geométrica	0	9,41
Asimetría	1,17	0,08
Curtosis	1,48	-0,66
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0,00	0,16

Tabla 2: Medidas de regularidad de las poblaciones aleatorias datos campo escalar.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no aparece normalizada en el supuesto $n = 100$, mientras que en el supuesto $n = 1000$ el test de hipótesis de normalidad (Shapiro-W) da una significancia normal. Este resultado no es congruente,

ya que la serie cuenta con un valor *trimodal* (8, 9 y 11), y la *media* (10) se integra entre los valores de la *moda*, lo que implica esa tendencia a la normalidad detectada en el test. Estas medidas unidimensionales no se refieren a la localización espacial de las cuadrículas, es decir, la variable de estudio no es una *variable regionalizada*, no depende del espacio, tan sólo se está evaluando *cómo* se distribuyen las frecuencias de las series sin existir ningún tipo de significado espacial en los resultados obtenidos.

El modo en el que se encuentran distribuidas las distintas poblaciones en las 100 cuadrículas, se sintetiza en:

- En la población $n = 100$, no existen retículas por debajo del *valor modal*, 38 con el mismo valor *modal* (0) y 62 retículas están por encima. Para el caso de la *media*, 38 retículas están por debajo, 26 por encima y 36 coinciden con el valor medio.
- En la población $n = 1000$, el número de retículas que se encuentran por debajo del *valor modal* son 23, mientras que 33 están por encima (y 44 con el mismo valor modal). Para el caso de la *media*, 47 retículas están por debajo, 45 por encima y 8 coinciden con el valor medio ($x = 10$).

Los resultados indican que cuanto mayor sea el valor de n , existirá mayor probabilidad en encontrar una tendencia a la *regularidad*.

Esto se puede relacionar con la noción de *saturación espacial*: ante el incremento de entidades sobre una misma área muestral (en este caso área 10x10) con tendencia a la aleatoriedad, *in extremis*, la dinámica espacial conduce a la homogenización del número de casos por localización.

MEDIDAS DE AGRUPACIÓN.

La manera más sencilla de medir el grado de agrupación de una *coordenado* consiste en construir una elipse que agrupe el 95% de todas las observaciones. Así que, cuanto

menor sea el tamaño de la elipse (menor la longitud de los ejes y menor el área) más concentrada será la serie y por tanto, habrá menor tendencia a la dispersión.

Desviación estándar

<i>de la Elipse</i>	<i>Long eje X (m)</i>	<i>Long eje Y (m)</i>	<i>Área elipse (m2)</i>
N=100	9,26	7,47	69,17
N=1000	8,09	8,24	66,65

Esta prueba sólo aporta una descripción espacial acerca de cómo se encuentra agrupada la distribución. Si el área total es de 100 m², muestra la tendencia de la población a distribuirse por toda el área muestral.

4.1.2. Análisis de Segundo Orden: *Estructura y Correlación* espacial.

En el análisis de *Segundo orden*, se plantea que tanto las distancias entre las entidades, como la intensidad diferencial de la *variable espacialmente dependiente*, variará de una localización a otra debido a los efectos locales en la interacción entre entidades vecinas. Mediante este análisis, se responde a **si determinado valor en determinado lugar depende del valor que la misma variable ha adoptado en otro lugar.**

A través de la implementación de una serie de análisis ajustados a la naturaleza de los datos espaciales, se consigue establecer un discurso descriptivo e interpretativo acerca del tipo de interacción que pueda existir.

En este caso teórico, se conoce que la causa de la distribución es un proceso espacialmente azaroso, de tal modo que sus resultados serán unos parámetros que definen la falta de interacción espacial en las distribuciones.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL (*Coordenados*).

1. Análisis del Vecino más Próximo (NNA):

El resultado de este test determina la dependencia espacial de la distribución en base al valor del índice resultante. Si la población es aleatoria, el NNI será igual a 1, valores de $NNI > 1$, indican no aleatoriedad de la distribución con tendencia a la dispersión; valores de $NNI < 1$, indican no aleatoriedad de la distribución con tendencia a la agregación.

Los resultados de este test se realizan sobre dos tipos de áreas: *Convex hull*, donde el área espacial se define como las localizaciones extremas de la distribución. En el segundo caso, el *rectángulo mínimo*, en el que el área espacial se delimita mediante la ortogonalidad entre las dos localizaciones más distantes entre sí de toda la distribución. Esta superficie suele ser mayor que la del *convex hull* (pudiendo llegar a abarcar una mayor parte de espacio vacío).

	CONVEX HULL		RECTANGULO MINIMO	
	Prob (alea)	Índice	Prob (alea)	Índice
N = 100	0,11	1,08	0,24	1,06
N = 1000	0,12	1,02	0,23	1,01

Tabla 3: Resultados del Test del vecino más próximo.

El índice de probabilidad, Prob (alea), da un valor de significancia superior al 0,05, con lo que es muy probable que la distribución sea aleatoria. Los valores del índice del *vecino más próximo* muestran unos valores netamente aleatorios.

2. Prueba de Multinormalidad (Test de MARDIA):

Aunque la prueba anterior muestra que las distribuciones son espacialmente aleatorias, es necesario comparar esos resultados con una estimación de la *curtosis espacial* de la distribución observada.

	Valor	P(normal)
Curtosis (n= 100)	-2,44	0,01
Curtosis (n= 1000)	-9,41	0

Como era de esperar la distribución observada no cumple con la condición de multinormalidad (la probabilidad de normalidad es inferior al 0,05) y los valores de *curtosis* muestran distribuciones bastante deformadas (irregularidad).

El estudio de la simetría muestra los siguientes valores:

	Coficiente
Simetría (n= 100)	3,16
Simetría (n= 1000)	1,64

El coeficiente de simetría disminuye conforme incrementa el número de observaciones (n), lo que está mostrando que las series se encuentran asociadas a procesos con tendencia a la aleatoriedad y serán mas simétricas conforme mayor sea el número de localizaciones existentes.

3. K DE RIPLEY.

Es un operador que permite establecer el *tipo*, la *intensidad* y el *rango* del *patrón espacial* a través del análisis de las distancias existentes entre todos los puntos de la distribución.

El software CrimestatIII permite visualizar el correlograma de la función K de Ripley para diferentes intervalos de distancia. En el gráfico que proporciona el programa, la función para la distribución observada aparece en color azul y la compara con un número seleccionado por el usuario de distribuciones teóricas simuladas (verde y rojo) mediante Monte Carlo, que representa la hipótesis de aleatoriedad.

La distribución observada será aleatoria si su recorrido se sitúa entre la menor (función en rojo) y la mayor (función en verde). Si el recorrido de la función observada se sitúa

por encima de la condición de aleatoriedad (0,0), se concluye que la distribución observada tendrá una naturaleza agregada. Mientras que si se sitúa bajo la condición de aleatoriedad, la distribución observada tiende a la dispersión.

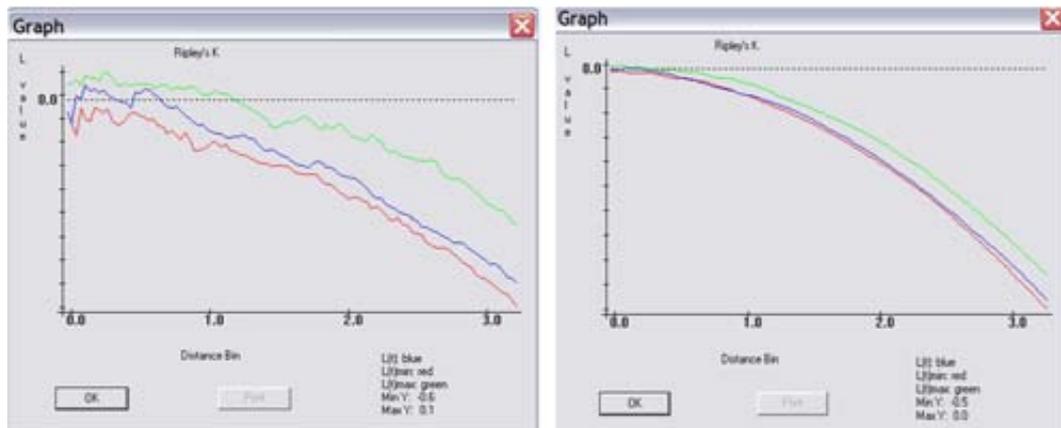


Figura 38: Grafico de la función K (d) de Ripley.

En ambos casos (izquierda $n=100$, derecha $n=1000$), la distribución observada muestra aleatoriedad y tendencia a la desagregación. La mayor intensidad del proceso espacial (incremento del número de localizaciones) no afecta a la tendencia de no agregación de la población, coincidiendo *in extremis* con la tendencia a la dispersión, medida en los resultados del vecino más próximo.

En cualquier caso, el estudio detallado de la función muestra que en el caso de procesos espaciales poco intensos (pocas localizaciones, $n=100$) y para distancias inferiores a 1 m, se observa cierta tendencia a la agregación, la cual desaparece para intervalos de distancia mayores. Se trata de un resultado lógico, ya que la intensidad del proceso es relativamente baja, permitiendo que en ese margen de distancia ($d > 1$) se llegue a detectar tendencia a la concentración, que se puede ver influenciada por la presencia de áreas vacías (recordar que el valor modal de las frecuencias, 0, es muy elevado). A medida que se incremente la intensidad de un proceso aleatorio (sin cambio en la superficie muestral), la intensidad de la desagregación se hace más patente.

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN (*Campo escalar*):

En el caso del análisis de las frecuencias espaciales representadas por medio de un *campo escalar* de intensidades, el análisis de la *agregación/dispersión* de la población se contrasta bajo el supuesto teórico de aleatoriedad espacial. Para ello, se emplean los estadísticos de Moran (*I*) y Geary (*C*). Mediante estos test y la información que aporta el correlograma de Moran y el análisis de la semivarianza, se establece el *tipo*, la *intensidad* y el *rango del patrón espacial* a través del análisis de las frecuencias espaciales.

1. INDICE DE MORAN (*I*), INDICE DE GEARY (*C*) y CORRELOGRAMA:

Para el cálculo de este test existen múltiples alternativas de software. Mediante el empleo del programa CrimestatIII los resultados son válidos, pero si existe especial interés en definir el criterio de adyacencia espacial entre retículas vecinas, se recomienda el empleo de la aplicación *Roockcase* integrada en el programa Excel, mediante la cual se puede seleccionar un determinado criterio de adyacencia.

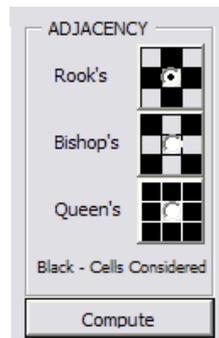


Figura 39: Ejemplificación de la ventana del Roockcase de Excel para determinar el tipo de adyacencia entre retículas vecinas. Esta imagen explica los tipos de adyacencia posible.

En los cálculos realizados, se ha empleado el criterio *Queen's*:

	INDICE (n = 100)	INDICE (n = 1000)
Moran's I	0,00	0,00
Geary's C	0,99	1

Los valores obtenidos en el test arrojan un resultado de absoluta falta de autocorrelación, lógico debido a la naturaleza de las muestras (especialmente aleatoria).

A través del software CrimestatIII, se puede visualizar el correlograma de la función de Moran para diferentes intervalos de distancia. En el gráfico que proporciona el programa, la función para la distribución observada aparece en color azul y la compara con un número seleccionado por el usuario de distribuciones teóricas simuladas (verde y rojo) que representan la hipótesis de aleatoriedad. La distribución observada será aleatoria si su recorrido se sitúa entre la menor (función en rojo) y la mayor (función en verde). Si el recorrido de la función observada se sitúa por encima de la condición de aleatoriedad (0,0) se concluye que la distribución observada, tendrá una naturaleza agregada. Mientras que si se sitúa bajo la condición de aleatoriedad, la distribución observada tiende a la dispersión.

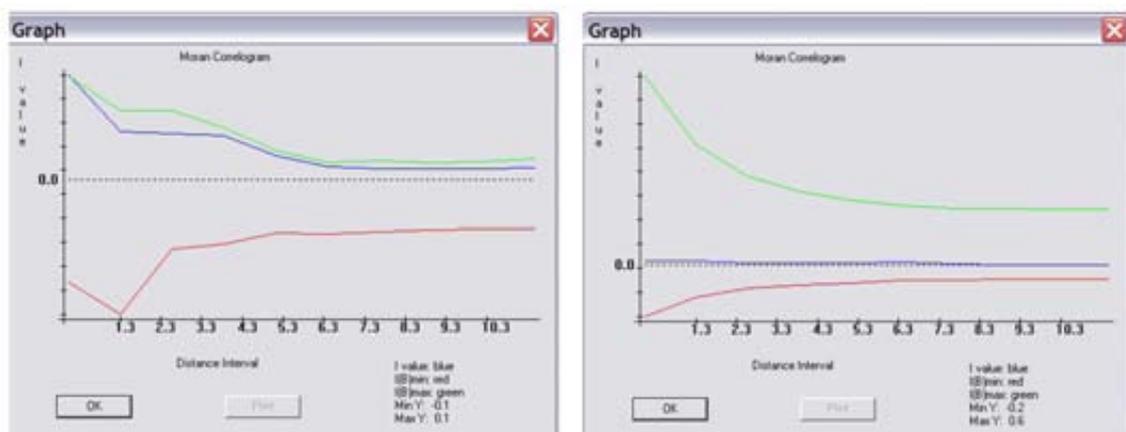


Figura 40: Grafico de la función Correlograma.

En ambos casos (izquierda $n = 100$, derecha $n = 1000$), la distribución observada demuestra su naturaleza aleatoria y además, se puede afirmar que una mayor intensidad del proceso espacial (incremento en el valor de frecuencias en las cuadrículas) afectará a la naturaleza del proceso espacial, ya que a medida que se incrementa el número de observaciones, la indefinición entre la tendencia a la agregación o la dispersión se hace más patente.

En la población $n=100$, se puede percibir una tendencia a la agregación en distancias inferiores (aprox.) a 1m. Este resultado ya se había detectado en el análisis de distancias (K de Ripley), donde existe una fluctuación parecida. Por el contrario, en la población $n=1000$ no sucede nada de esto, situándose en una indefinición desde el principio sobre la posibilidad de un comportamiento agregado o disperso de la población. Es probable

que este resultado se encuentre relacionado con la *saturación espacial* que presenta la distribución, junto a la naturaleza azarosa del proceso espacial causal, ya que la concurrencia de ambos factores provoca la indeterminación en la densidad espacial.

2. SEMIVARIANZA:

El cálculo de la *semivarianza* va más allá de una estimación de la correlación espacial, ya que mediante la determinación de la relación de una *variable regional* medida en una serie de puntos, se puede conocer/predecir los valores de esa misma variable medida en puntos situados a distancias conocidas, pero que no han sido muestreados.

El potencial de esta herramienta⁴⁵ se desarrolla para el caso de modelos de predicción espacial, en los que tan sólo se dispone de una fracción de información espacial, nunca con la totalidad del área prospectada.

En los casos analizados (población de 100 y 1000 individuos en un área muestral de 10x10), se cuenta con el 100% del área prospectada, con lo que el operador *semivariograma* muestra la relación de cambio entre todos los pares de puntos de la población, basándose en el muestreo completo y no en una parte de dicha población.

En estas condiciones, el resultado del semivariograma no es una predicción, sino una descripción completa de la correlación espacial que pueda existir en la distribución espacial objeto de estudio.

	n = 100	n = 1000
Media	1,62	10
Varianza	0,79	10,70
Mínimo	1	3
Máximo	5	17

⁴⁵Para determinar los valores del semivariograma se ha usado el software gratuito: VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error) diseñado e implementado por la Universidad de Sydney.

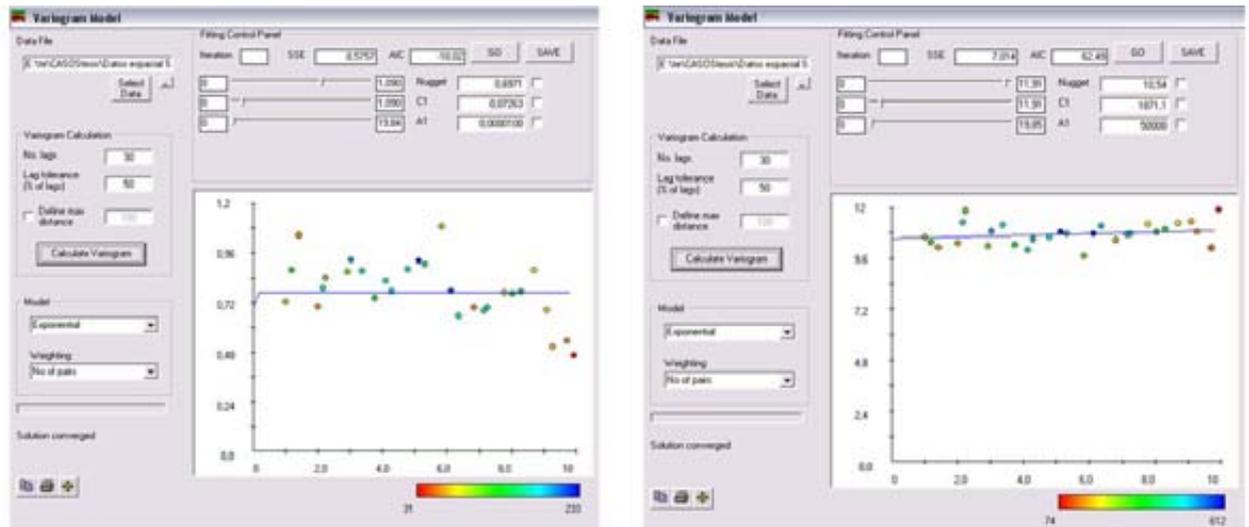


Figura 41: Imagen de los semivariogramas, a la izquierda población $n=100$, a la derecha población $n=1000$.

Los resultados del semivariograma (a la izquierda $n = 100$, a la derecha $n = 1000$) determinan que la población no muestra autocorrelación. Esto implica que no existe ninguna función de semivarianza $h(v)$ que modele la dinámica espacial de la distribución, sencillamente, porque la población no presenta ningún comportamiento espacial, ya que es aleatoria.

Sin embargo, las circunstancias particulares de los fenómenos estudiados (información espacial completa y población simulada bajo condiciones de aleatoriedad espacial) permiten establecer un uso de la información, que proporciona el semivariograma en los siguientes términos:

- i. El modelo teórico (en este caso se ha usado el exponencial), función en color azul paralela al eje de la ordenada, adopta la forma prototípica de la aleatoriedad espacial.
- ii. Según la función, el *umbral*, que equivale al valor de la varianza espacial, muestra unos valores muy elevados, lo que demuestra la falta de relación entre las localizaciones.
- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, para ambas poblaciones corta a la ordenada en 0, lo que está indicando que la zona de influencia (*distancia*) a partir de la cual la autocorrelación es nula, es decir, no existe autocorrelación a partir de una distancia superior a 0.

- iv. El *efecto pepita* es enorme, lo que podría inducir a una grave distorsión en las poblaciones. Esto no es así, no sólo por el hecho de controlar el proceso causal de las distribuciones, sino que además su posible significancia se ve truncada porque no existe posibilidad de establecer relaciones espaciales por debajo del valor que muestra el *rango*.

Los resultados del semivariograma muestran la falta de autocorrelación espacial para ambas poblaciones en base a la información aportada por las características que describen a la función semivarianza, que se debe al comportamiento espacialmente azaroso de las distribuciones. También pone de manifiesto que ante un incremento en la población, la falta de autocorrelación se percibe con mayor contundencia, esto se debe a que la semejanza entre la nube de puntos muestrales y la línea que define la función del modelo, se encuentra más ajustada para $n=1000$, que para $n=100$.

4.1.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio espacial

Además de la estadística de 1er y 2º orden, la modalidad espacial de una distribución bidimensional puede describirse por medio de *funciones polinómicas*. Con ello, se pretende mostrar mediante un modelo en 3D la frecuencia espacial de la distribución en el área prospectada.

Para la creación de estas superficies se ha empleado el programa RockWorks 2006, usando el algoritmo de superficie polinomial de orden 4. La elección de este orden se debe a la deformación de la superficie, que se percibe sin apenas suavizados (como ocurriría con un polinomio inferior a orden 3) y sin exagerar la deformación (como ocurriría con un polinomio superior al orden 4).

La ecuación, que caracteriza a esta superficie, es la siguiente:

$$f(x) = 3,3 + 0,3x - 0,17(x-5,1)^2 + 0,02(x-5,1)^3 + 0,01(x-5,1)^4$$

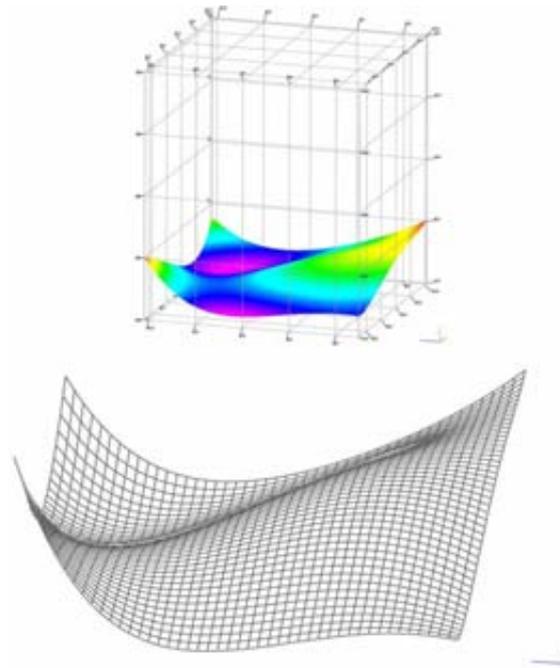


Figura 42: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población n=100 con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación.

La ecuación, que caracteriza a esta superficie, es la siguiente:

$$f(x) = 5,03 - 0,06x + 0,07(x-4,7)^2 + 0,005(x-4,7)^3 - 0,003(x-4,7)^4$$

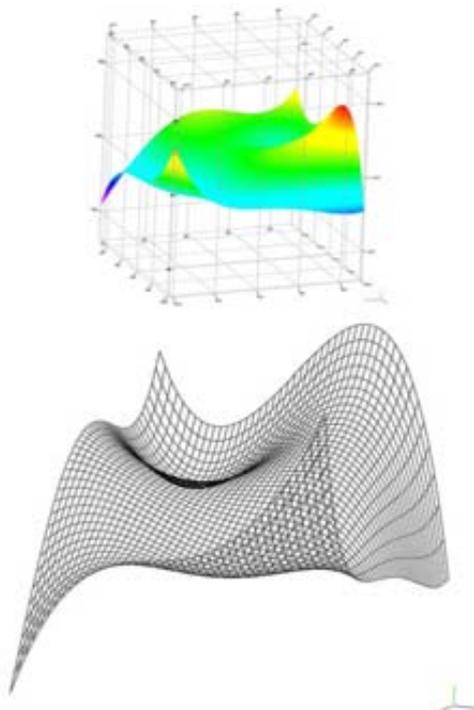


Figura 43: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población n=1000 con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

Al haber empleado el algoritmo de interpolación *Trend surface* con un polinomio de orden cuatro, el resultado es una superficie atenuada, pero que permite reconocer las fluctuaciones en la distribución de frecuencias. Tal como era de esperar, las superficies interpoladas son bastante diferentes ($n=100$, $n=1000$).

Las superficies muestran que las distribuciones de frecuencias de los procesos espacialmente aleatorios aparecen sin ningún tipo de relación, ya que la frecuencia de valores fluctúa irregularmente sobre un conjunto de retículas vecinas.

La ventaja de este modelo polinomial sobre las superficies interpoladas por KDE radica en que el polinomio generaliza el proceso espacial, siendo menos sensible a las pequeñas variaciones locales producidas por factores estrictamente estocásticos. Esta aplicación está más allá de la descripción espacial, ya que establece una visualización de la relación espacial que existe entre retículas vecinas. Si la deformación entre retículas vecinas es elevada, se puede afirmar que la relación entre aquellas será mínima. Por el contrario, si la deformación es escasa o se realiza gradualmente, se puede decir que existe algún tipo de relación entre retículas adyacentes.

Nota: Dado el carácter de los datos simulados (proceso espacial aleatorio) no se considera aquí el cálculo de los residuales o la variación estocástica de los residuales, ya que no aporta información de relevancia.

Tras describir las características de la superficie interpolada, es necesario establecer una medida de la tasa de cambio espacial producida sobre dicha superficie, lo cual se consigue desde el cálculo del gradiente espacial. Mediante esa operación, se puede apreciar *cómo* es la tasa de cambio entre diferentes zonas de una distribución y *cuánto* de estable/inestable pueda ser una zona concreta.

Partiendo de los modelos anteriores, se puede averiguar en qué región del área estudiada tuvo lugar la acción que generó la distribución observada. De acuerdo con el principio general de distribución normalizada expuesto más arriba, si la acción fue espacialmente intencional, es decir, estaba orientada a una localización concreta, aquellas localizaciones de la superficie interpolada que muestre una mayor continuidad en sus valores, corresponderá al área sobre la cual tuvo lugar esa acción.

Esta *subregión* puede ser localizada fácilmente calculando el gradiente de la intensidad del proceso espacial.

El gradiente de las dos distribuciones espaciales queda del siguiente modo:

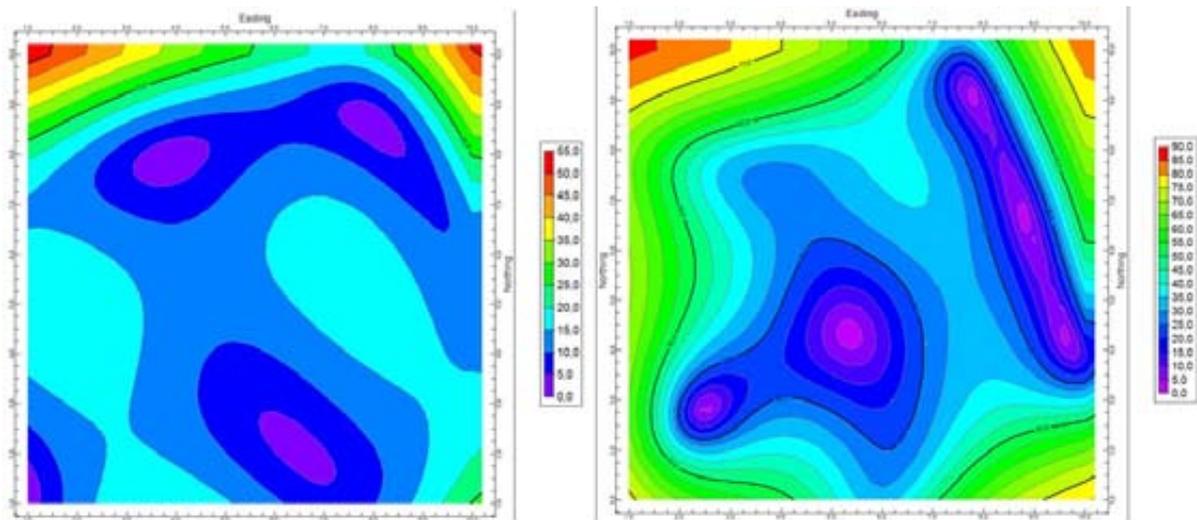


Figura 44: En la imagen compuesta de las dos poblaciones ($n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha) se ve la tasa de cambio según una escala de colores. El cambio es una expresión porcentual que va desde colores fríos que indican bajas tasas de cambio, hasta colores cálidos que indican tasas de cambio considerable.

En la población $n=100$ se documentan una amplitud en la tasa de cambio que va desde 0 hasta el 55%. En función a estos datos, se puede definir 3 zonas con dinámicas de cambio diferentes:

- i. Apenas hay cambios (abarca una tasa de cambio que va desde 0 hasta 15%).
- ii. Cambio moderado (abarca una amplitud de cambio que va desde 15 hasta 30%).
- iii. Cambio acusado (abarca una amplitud de cambio que va desde 30 hasta 55%).

La superficie de la distribución aleatoria muestra una clara tendencia a pocos cambios, mientras que la presencia de los cambios más acusados se encuentran en los extremos, probablemente, debido a la presencia de efecto borde:

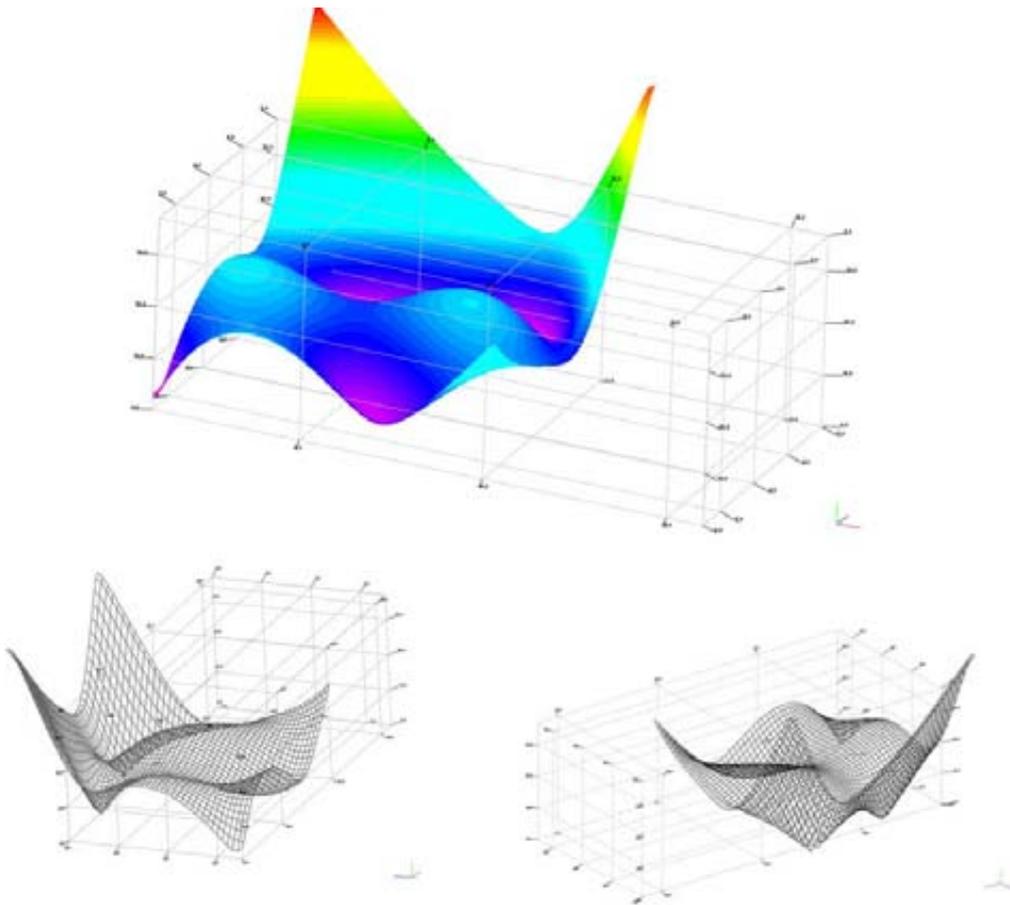


Figura 45: Representación 3D del gradiente espacial aleatorio población $n = 100$. En la parte inferior vistas sin trama de color desde diferentes ángulos, lo que permite apreciar la torsión en la superficie del gradiente.

En la población $n=1000$ se documentan una amplitud en la tasa de cambio que va desde 0 hasta el 90%. En función a estos datos, se puede definir 5 zonas con dinámicas de cambio diferentes:

- i. Apenas cambios con una tasa de cambio que va desde 0 hasta 10%
- ii. Tasa de cambio moderadamente baja (10 - 25%)
- iii. Tasa de cambio moderadamente alta (25- 40%)
- iv. Tasa de cambio elevada (40 – 60%)
- v. Tasa de cambio extrema (60 – 90%)

La superficie de la distribución aleatoria muestra una clara tendencia a los cambios. El incremento en los cambios se encuentra en los extremos, probablemente, debido a la presencia de efecto borde:

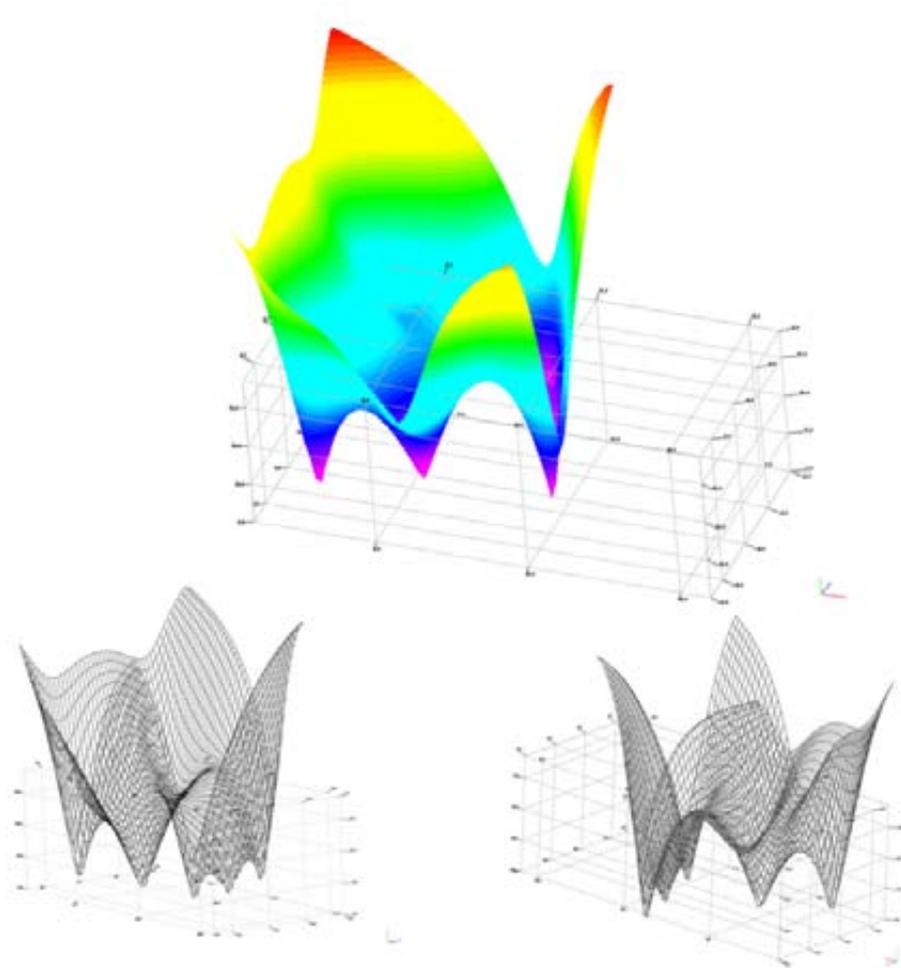


Figura 46: Representación 3D del gradiente espacial aleatorio población $n = 1000$. En la parte inferior vistas sin trama de color desde diferentes ángulos, lo que permite apreciar la deformación de la superficie del gradiente.

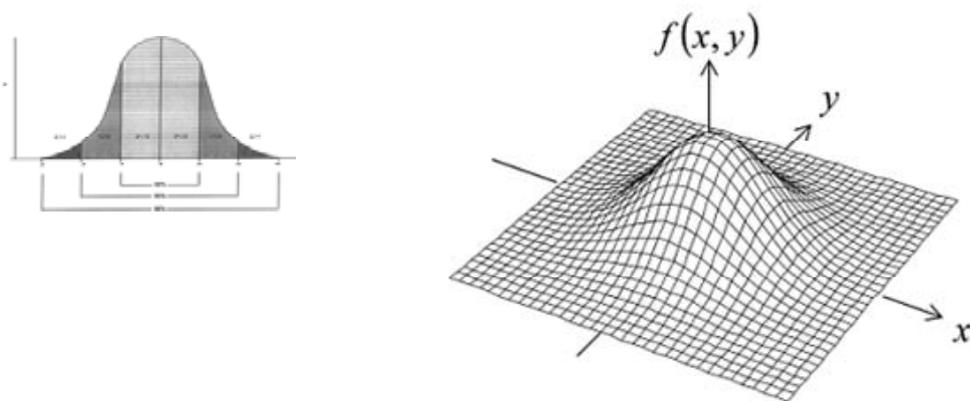
La comparación entre *superficie polinómica* y *gradiente* muestra que la relación entre valores de frecuencia y tasa de cambio no existe, comportamiento lógico en una distribución espacialmente aleatoria.

4.2. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES AGREGADAS

En las siguientes páginas, se realiza el análisis estadístico de la variación espacial en un proceso **espacialmente normalizado**. Se ha elegido la ley Normal Bivariante como la mejor distribución teórica para representar dicho proceso.

Esta ley fue introducida por Gauss a principios del siglo XIX, como modelo de distribución teórica, se adapta con gran aproximación a determinados comportamientos espaciales. En esta tesis, una distribución espacialmente normalizada se asocia con la localización más probable donde se realizó la acción que causó la distribución de los restos materiales percibidos.

La ley distribución espacial normal bivariada se describe como las variaciones de la variable dependiente (p.ej. intensidad de un proceso) en base a las variables independientes, que en el caso bidimensional son X e Y :



The Bivariate Normal Distribution

A pair of random variables X and Y have a bivariate normal distribution if their joint probability density is given by

$$f(x, y) = \frac{\left(\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \right) \left(\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2 - \frac{2\rho(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \left(\frac{y-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2 \right) \right)}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}}$$

for $-\infty < x < \infty$ and $-\infty < y < \infty$, where $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 > 0$, and $-1 < \rho < 1$.

Figura 47: Imagen de la distribución normal bivariada. Tomada de Barceló & Maximiano 2007.

El supuesto de partida se centra en que una distribución se encuentra espacialmente normalizada cuando se registra **dependencia espacial** entre las localizaciones, que componen la población.

La distribución será *espacialmente agregada* en aquellos casos en los que la presencia de un *individuo* genere una mayor probabilidad de encontrar en las cercanías a otros individuos de la misma población, por lo que la media espacial (\bar{x}) tiende a ser menor que la varianza de las distancias (S^2).

Por medio de este tipo de proceso, se pretende simular las características espaciales de acciones intencionales definidas por la correlación entre el lugar de la acción y la distribución (espacialmente normalizada) de sus efectos.

Si este tipo de acciones se caracterizan por una localización explícita, entonces las consecuencias materiales de dicha acción deberían aparecer en lugares próximos a su realización, en otros términos, una gran mayoría de los efectos materiales de dicha acción se concentrarían en una porción pequeña del *espacio físico*, mientras que una minoría de los resultados se localizarían a una mayor distancia. Por ese motivo, la densidad de la distribución espacialmente normalizada será mayor en el centro de la distribución que en sus extremos.

El sentido común dice que las diferencias entre la localización de los resultados materiales de la acción intencionalmente ejecutados en el espacio son debidas al azar. Por consiguiente, si se observa una mayor concentración de objetos rodeada por densidades progresivamente menores (cuanto más lejos del centro), se habrá encontrado una distribución espacialmente normalizada.

En el siguiente análisis, se realiza la comparación de los resultados de dos poblaciones espacialmente normalizadas ($n = 100$ y $n = 1000$), distribuidas en un área de 10 metros x 10 metros. Se ha utilizado un generador de datos aleatorios (Stat4) con el que las poblaciones generadas cumplen con la condición de la distribución *Normal bivariada*.

La población ha sido generada mediante *datos coordenados* (x, y) y las distribuciones de puntos han sido convertidas a *campos escalares* a través del cálculo de tablas de contingencia en las que el número de filas corresponde al número de cuadrículas en el eje Y, y las columnas corresponden al número de cuadrículas en el eje X.

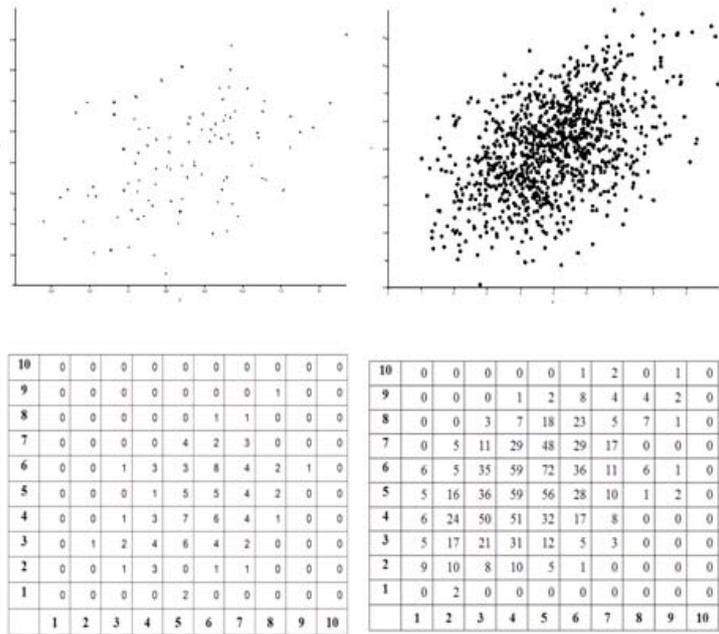


Figura 48: Distribución de puntos (arriba) y tablas de contingencia (abajo) de las poblaciones; n= 100 a la izquierda, n= 1000 a la derecha.

4.2.1. Análisis de primer orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar

VISUALIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

En el histograma 3D, se puede visualizar las **frecuencias** espaciales (en este caso sobre una retícula de 1x1), que supone una aproximación de *cómo* es la variabilidad de la distribución.

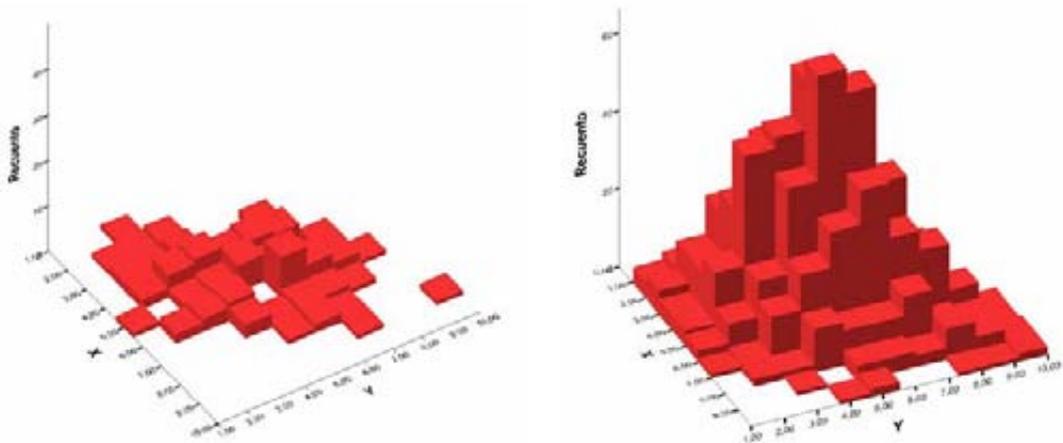


Figura 49: Histogramas de las poblaciones; n= 100 a la izquierda, n= 1000 a la derecha.

Por otro lado, el uso del método KDE permite visualizar la *regularidad* en una **nube de puntos**, pudiendo establecer *isolíneas*, que relacionan valores similares en diferentes localizaciones.

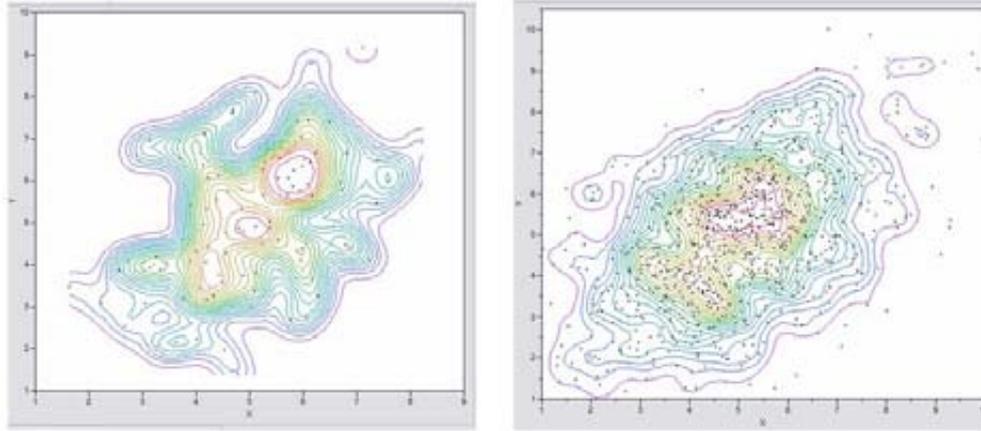


Figura 50: Densidad Kernel en 2D; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

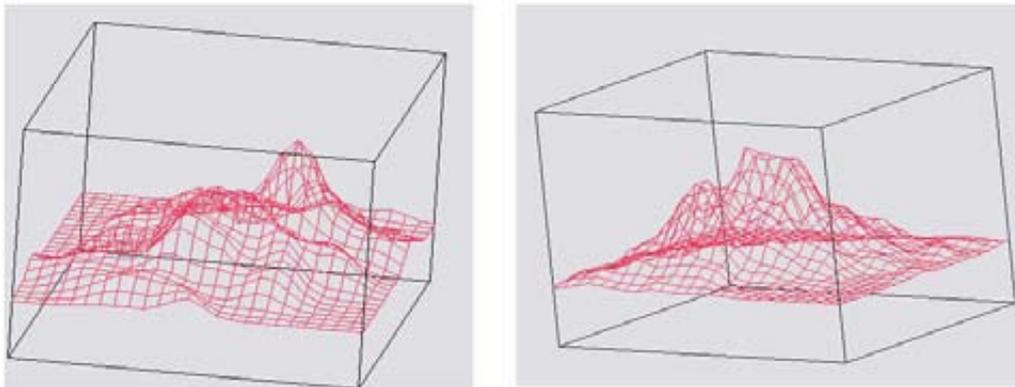


Figura 51: Densidad Kernel en 3D; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

La visualización de las poblaciones permite observar cómo en un proceso espacialmente normalizado aparecen frecuencias de valor alto, vinculadas a una serie de localizaciones próximas entre sí y cómo a partir de esas localizaciones y a medida que se va alejando de ellas, los valores de las frecuencias van disminuyendo. Esto lleva a la existencia de una relación espacial, ya que no existe posibilidad de distribuir y localizar a la población en cualquier lugar y de cualquier manera sobre el área muestral.

A partir del análisis visual de los distintos casos de variación espacial, se puede considerar que:

- i. Ante el incremento de n (sin variar el tamaño de la superficie), la *irregularidad* y la tendencia a la *agregación* son más acusadas.
- ii. Cuando la serie es espacialmente normalizada, existe una relación de valor entre localizaciones próximas (valores más parecidos) y una tendencia a la diferencia de valor conforme mayor sea la distancia entre pares de puntos.
- iii. La distribución normalizada tiende a la *agregación*, que es algo bien distinto a la mera acumulación. Esto implica una correlación entre los valores que toma la *variable regional* en base a la localización espacial de la misma. Existen una serie de pautas tanto en términos de *distancias* como en las *frecuencias* de la distribución. La agregación sigue la ley de Tobler (Tobler 1970), donde la relación entre entidades será mayor conforme la distancia entre aquellas sea menor.

Tanto la primera como la tercera consideración, se visualizan mejor si se comparan poblaciones muy diferentes ($n=10$ y $n=10000$) siempre en la misma escala espacial de 10 metros x 10 metros.

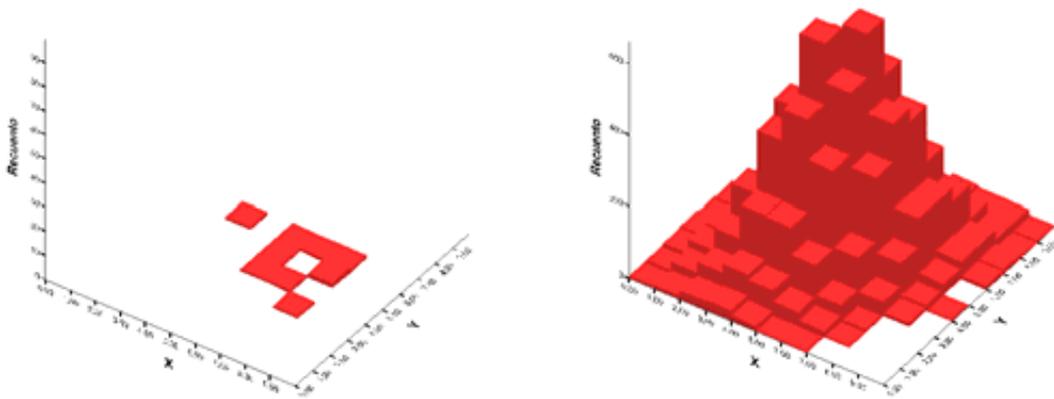


Figura 52: Histogramas de las poblaciones; $n=10$ a la izquierda, $n=10000$ a la derecha.

Mediante la observación de estos dos casos ($n=10$ y $n=10000$) se puede contrastar que indistintamente al tamaño de la población, se reconoce la tendencia a la *agregación* en la distribución.

Sin duda, cuanto mayor es el tamaño de la población la agregación se aprecia con mayor nitidez. El proceso *espacialmente normalizado* mantiene y suele enfatizar sus características a medida que incrementa n , mediante estas características se está poniendo de manifiesto la presencia de determinadas áreas espaciales donde existirá una mayor tendencia a ocurrir en una determinada localización, frente a otras donde la tendencia será considerablemente menor, pero existiendo una relación entre ambos extremos de tendencia espacial.

DESCRIPTORES BÁSICOS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

En el caso de los *coordenados*:

DESCRIPTORES	n = 100		n = 1000	
	X	Y	X	Y
Mínimo	1,63	1,37	1,02	0,10
Máximo	8,56	9,14	9,94	9,99
Media	5,11	5,13	4,99	5,03
Media Geométrica	4,91	4,84	4,728	4,723
Media Armónica	4,69	4,84	4,41	4,20
Centro de Dist. Mínimas	5,11	5,13	4,99	5,03

Tabla 4: Medidas de centralidad de las poblaciones agregadas datos coordenados.

En el caso del *campo escalar*, el punto central de la distribución corresponde a la media ponderada de las coordenadas de las cuadrículas.

	X (n=100)	Y (n=100)	X (n=1000)	Y (n=1000)
Media	5,60	4,64	4,41	5,29

MEDIDAS DE REGULARIDAD.

En el caso de los *coordenados* (densidad media por metro cuadrado):

	n= 100	n= 1000
Densidad media de puntos / m ²	1,85	11,32

En el caso del *campo escalar*:

	Frec. (n = 100)	Frec. (n = 1000)
Mínimo	0	0
Máximo	8	72
Moda	0	0
Media	1	9,99
Desviación	1,77	16,01
Media Geométrica	0	0
Asimetría	1,93	1,99
Curtosis	3,13	3,22
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0	0

Tabla 5: Medidas de regularidad de las poblaciones agregadas datos *campo escalar*.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no aparece normalizada, lo que significa que el número de cuadrículas con frecuencias muy altas o muy bajas es superior al número de cuadrículas con frecuencias que tienden a la *media*.

La normalidad o no normalidad unidimensional de las frecuencias no determina al proceso espacial de la distribución, ya que la variable estudiada en este caso no es una *variable regionalizada* que no depende del espacio.

El modo en el que se encuentran distribuidas las distintas poblaciones en las 100 cuadrículas, se sintetiza en que:

- En la población n = 100, no existen retículas por debajo del *valor modal*, 65 con el mismo valor modal (0), y 35 retículas están por encima. Para el caso de la *media*, 65 retículas están por debajo, 23 por encima y 12 coinciden con el valor medio.
- En la población n = 1000, no existen retículas por debajo del *valor modal* mientras que 61 están por encima (y 39 con el mismo valor

modal). Para el caso de la *media*, 71 retículas están por debajo, 26 por encima y 3 coinciden con el valor medio ($x= 9,99$).

Si estos resultados se visualizan en un plano bidimensional, indican que cuanto mayor sea el valor de n , existirá mayor probabilidad en encontrar tendencia a la *irregularidad*, (existe mayor varianza entre el valor medio y la distribución de los valores por retícula), debido a que se produce un afianzamiento del proceso espacialmente normalizado a medida que se incrementa la población, es decir, cada vez son menos las frecuencias con valores próximos a la media y se incrementan el número de retículas con valor de frecuencias bajas, mientras que tiende a disminuir el número de retículas con valores altos.

Esta dinámica se relaciona con el incremento de la población sobre una misma unidad de superficie, bajo condiciones de normalización espacial, ya que se produce una recurrencia a unas determinadas localizaciones (las asignadas en los valores de media y varianza a la hora de diseñar la población teórica) ⁽⁴⁶⁾, provocando una fuerte oscilación de los valores de la variable según *donde* se encuentren localizados.

MEDIDAS SIMPLES DE AGRUPACIÓN.

Desviación estándar

<i>de la Elipse</i>	<i>Long eje X (m)</i>	<i>Long eje Y (m)</i>	<i>Área elipse (m2)</i>
N=100	3,20	5,15	16,48
N=1000	3,25	5,43	17,64

Si el área total es de 100 m² muestra la tendencia de la población a distribuirse por toda el área muestral.

⁴⁶ En el caso de una población empírica, la recurrencia a una serie de localizaciones serían las propias del lugar donde se realizó la acción, disminuyendo el valor de la intensidad a medida que se aleja de lugar donde se realiza la acción.

4.2.2. Análisis de segundo orden: Estructura y Correlación espacial.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL (Coordenados).

1. Análisis del Vecino más Próximo (NNA):

	CONVEX HULL		RECTANGULO MINIMO	
	Prob (alea)	Índice	Prob (alea)	Índice
N = 100	0,002	1,16	0,03	0,89
N = 1000	0	0,92	0	0,75

Tabla 6: Resultados del Test del vecino más próximo.

Los resultados muestran la no aleatoriedad en cada una de las distribuciones. La tendencia observada en el Convex Hull a la dispersión en $n = 100$, frente a la tendencia a la agregación en $n = 1000$, confirma lo que en el análisis visual se apuntaba, a medida que el proceso espacial se hace más intenso, la tendencia a la agregación espacial será mayor.

2. Prueba de Multinormalidad (Test de MARDIA):

	Valor	P(normal)
Curtosis (n= 100)	-1,42	0,153
Curtosis (n= 1000)	-0,93	0,35

Las distribuciones cumplen con la condición de multinormalidad. El test de normalidad muestra una significancia superior a 0,05.

El coeficiente de simetría aumenta conforme incrementa el número de observaciones (n), lo que muestra que las series se encuentran asociadas a procesos con tendencia a la normalización espacial y tenderán a incrementar la simetría conforme mayor sea el número de localizaciones existentes.

	Coefficiente	P(normal)
Simetría (n= 100)	0,24	0,993
Simetría (n= 1000)	7,10	0,13

4. K DE RIPLEY

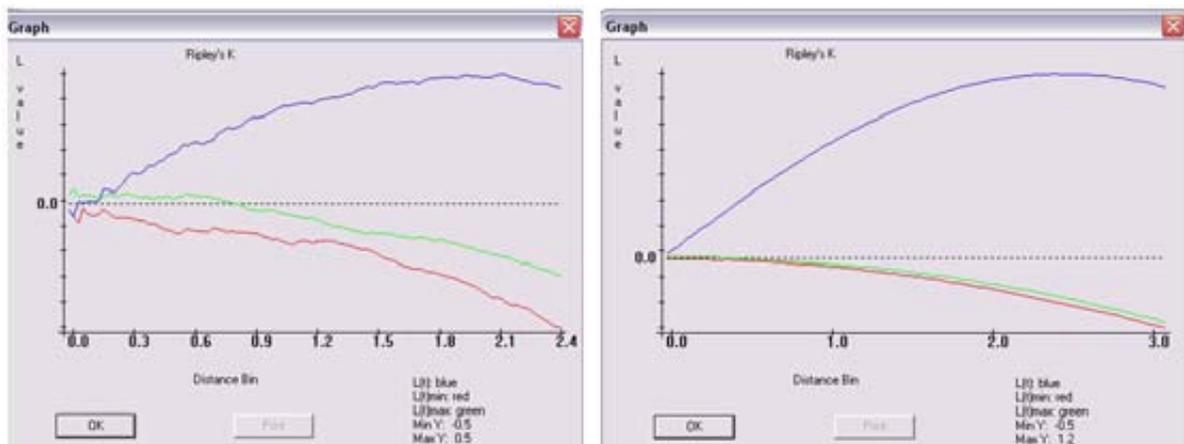


Figura 53: Grafico de la función K (d) de Ripley.

Mediante el gráfico se puede ver cómo las distribuciones (izquierda población n=100, derecha población n=1000) no son aleatorias y muestran un comportamiento espacialmente agregado.

En el estudio detallado de la población n = 100 y para distancias inferiores a 0,3, se observa cierta tendencia a la aleatoriedad, que desaparece para intervalos de distancia mayores. Se trata de un resultado lógico, ya que la intensidad del proceso es relativamente baja, permitiendo que en ese margen de distancia (>0,3) se pueda detectar tendencia a la aleatoriedad. Según lo visto, se puede decir que a medida que se incrementa la intensidad de un proceso espacialmente normalizado (sin cambio en la superficie muestral), la intensidad de la agregación es más patente sin dejar posibilidad a la presencia de otras modalidades espaciales.

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN (Campo escalar):

1. INDICE DE MORAN (I); INDICE DE GEARY (C) y CORRELOGRAMA:

En los cálculos realizados se ha empleado el criterio de adyacencia *Queen's*:

	INDICE (n = 100)	INDICE (n = 1000)
Moran's I	0,71	0,81
Geary's C	0,39	0,30

Los valores obtenidos en el test arrojan un resultado de autocorrelación positiva (agregación).

El correlograma de Moran muestra que ambas poblaciones (izquierda población n = 100, derecha población n = 1000) no son aleatorias y además, se encuentran espacialmente agregadas.

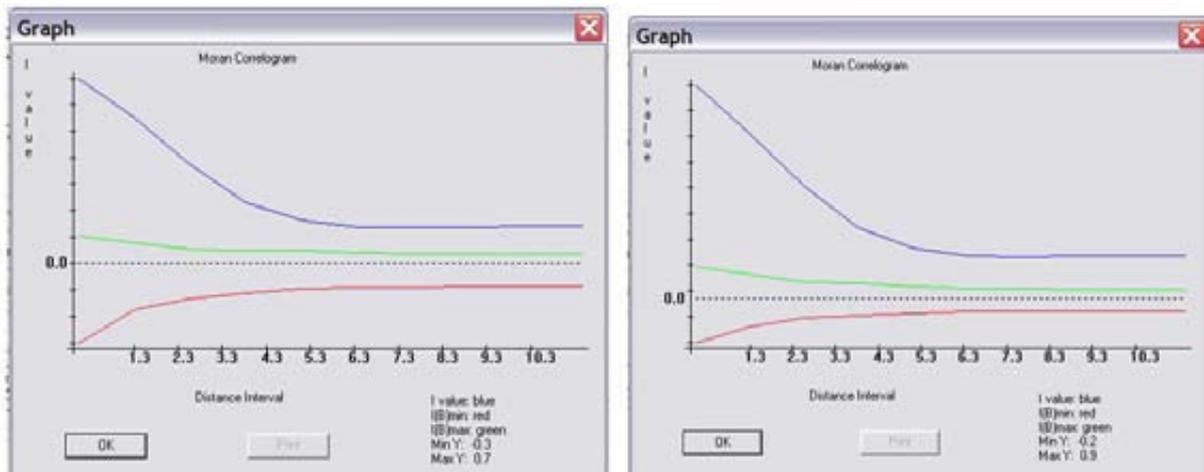


Figura 54: Grafico de la función Correlograma.

2. SEMIVARIANZA:

Se recuerda que el resultado del semivariograma no es una predicción, sino una descripción completa de la autocorrelación espacial que existe en la distribución espacial.

	n = 100	n = 1000
Media	1	9,9
Varianza	3,15	256,41
Mínimo	0	0
Máximo	8	72

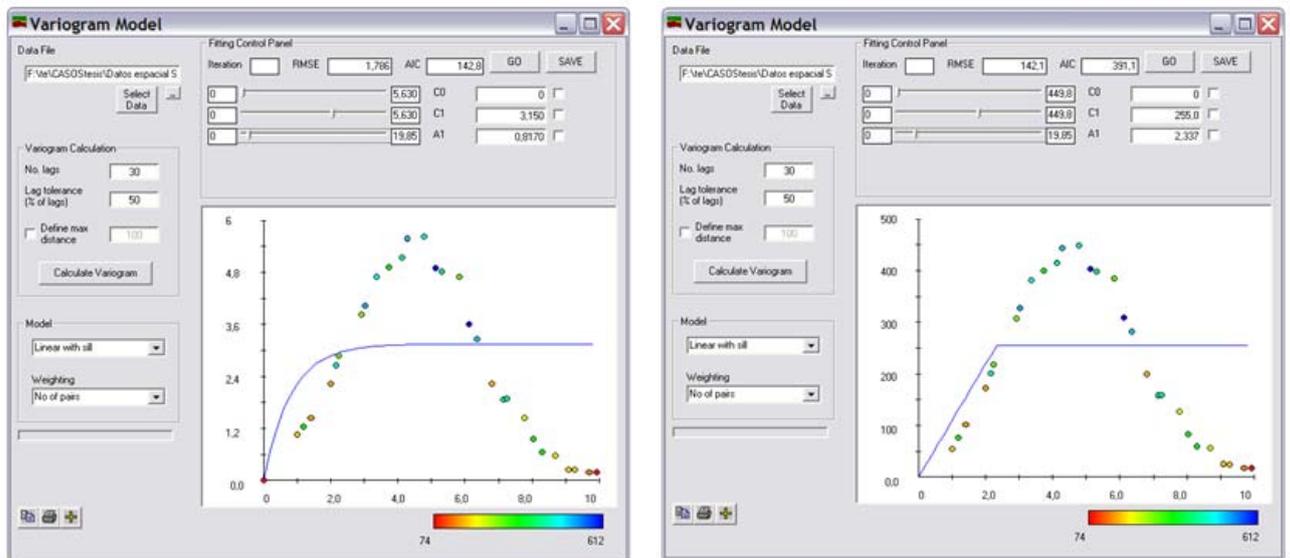


Figura 55: Imagen de los semivariogramas, a la izquierda población n=100, a la derecha población n=1000.

Los resultados del semivariograma (modelo lineal con meseta) determinaron que las dos poblaciones están autocorrelacionadas, en otros términos, sean dos localizaciones α y σ , que se encuentren separadas por una distancia d , si se produce un cambio en α y la distancia entre ambas es inferior o igual a la *distancia de autocorrelación*, existirá algún tipo de influencia en σ .

La implicación espacial más importante radica en que existe un patrón predictivo que modela la dinámica espacial de la distribución.

En la salida gráfica de los puntos se ve la pauta normal de la distribución. Al emplear poblaciones teóricas construidas bajo unas condiciones controladas, la representación

del comportamiento espacialmente normalizado refleja una tendencia canónica de normalidad. Se hace una llamada de atención al lector, ya que en determinados casos empíricos la presencia de ciertas distorsiones, como por ejemplo: forma del área muestral, asimetrías, desviaciones acusadas,..., generan un tipo de descripción de la variación espacial que aun existiendo *autocorrelación*, se hace complicado reconocer el comportamiento espacial de dicha distribución.

Algunos comentarios de los resultados obtenidos sobre los semivariogramas de las poblaciones analizadas muestran que:

- i. El modelo teórico (lineal con meseta), función en color azul, adopta la forma prototípica de los modelos que reconocen la presencia de autocorrelación espacial.
- ii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población es un poco inferior a la mitad del valor máximo, lo que indica una población distribuida en el espacio de manera equilibrada
- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, indicando que la zona de influencia (*distancia*) a partir de la cual la autocorrelación es nula, se encuentra para $n = 100$, en torno a los 0,80 metros, mientras que para $n = 1000$, se sitúa aproximadamente en los 2,30 metros.
- iv. El *efecto pepita* no existe, debido a las condiciones de control existente en la creación de las distribuciones.

Los resultados del semivariograma muestran la presencia de *autocorrelación* (dependencia entre las localizaciones espacialmente distribuidas), en base a la información aportada por las características que describen a la función semivarianza. También, se pone de manifiesto que ante un incremento en la población, la relación espacial es más intensa, ya que aumenta el valor de la distancia de autocorrelación (en aproximadamente 1m. para $n=1000$).

4.2.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio espacial

Las poblaciones han generado las siguientes superficies polinómicas:

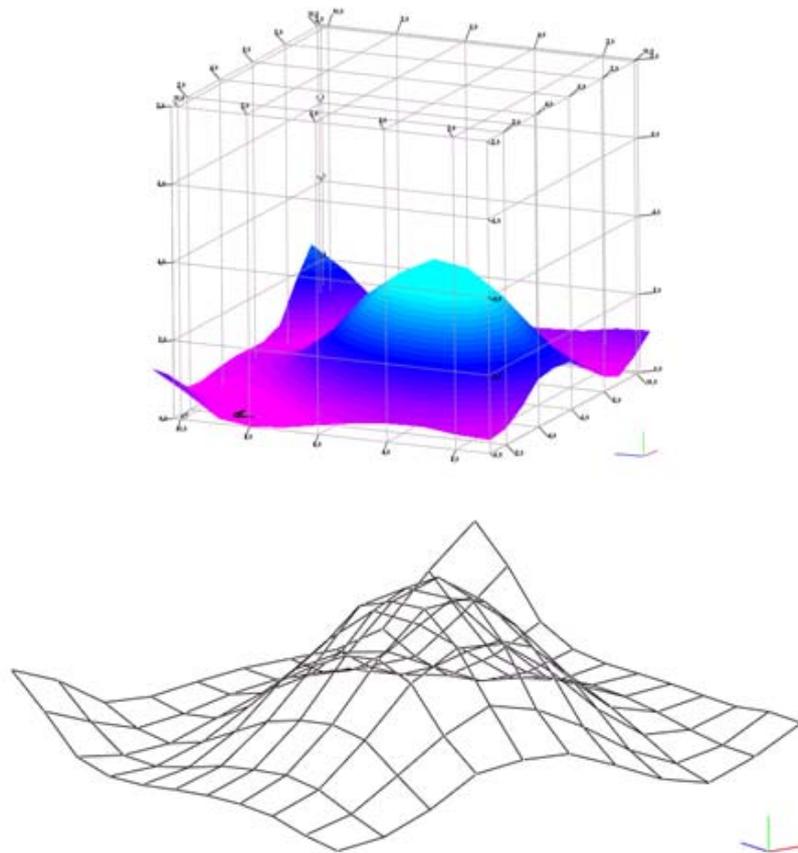


Figura 56: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n = 100$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

La ecuación que caracteriza a esta superficie es la siguiente:

$$f(x) = 3,3 + 0,3x - 0,1(x-5,1)^2 + 0,02(x-5,1)^3 + 0,01(x-5,1)^4$$

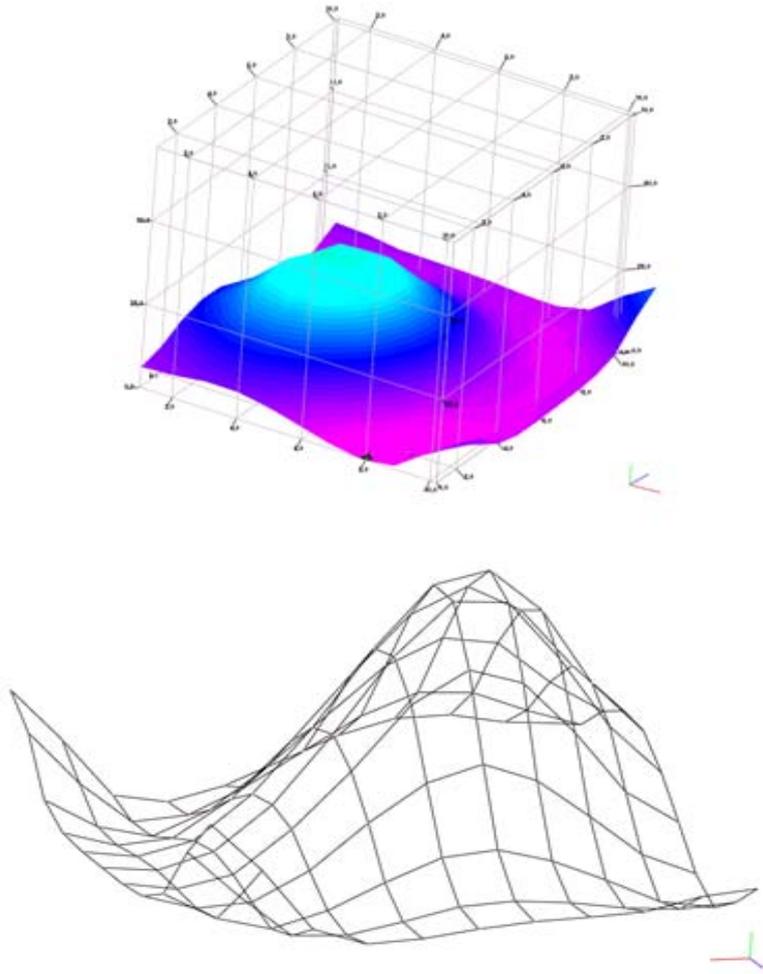


Figura 57: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n = 1000$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

La ecuación que caracteriza a esta superficie es la siguiente:

$$f(x) = 2,5 + 0,5x - 0,03(x-4,9)^2 - 0,003(x-4,9)^3 + 0,002(x-4,9)^4$$

Tal como era de esperar, las superficies interpoladas son prácticamente muy parecidas ($n = 100$, $n = 1000$), variando, eso sí, en la intensidad. Muestran que las distribuciones espacialmente normalizadas aparecen agrupadas alrededor de su media y que frecuencia y densidad espacial disminuyen gradualmente a medida que se aleja del punto central de la distribución, lo que hace que las retículas vecinas muestren una deformación parecida o un cambio secuenciado.

De acuerdo con el principio general de distribución normalizada (expuesto más arriba), si la acción fue espacialmente intencional, esto es, estaba orientada a unas localizaciones concretas, aquellas localizaciones de la superficie interpolada que muestren una mayor continuidad en sus valores, corresponderán al área sobre la cual tuvo lugar esa acción.

Esta *subregión* puede ser localizada fácilmente, calculando el gradiente de la intensidad del proceso espacial.

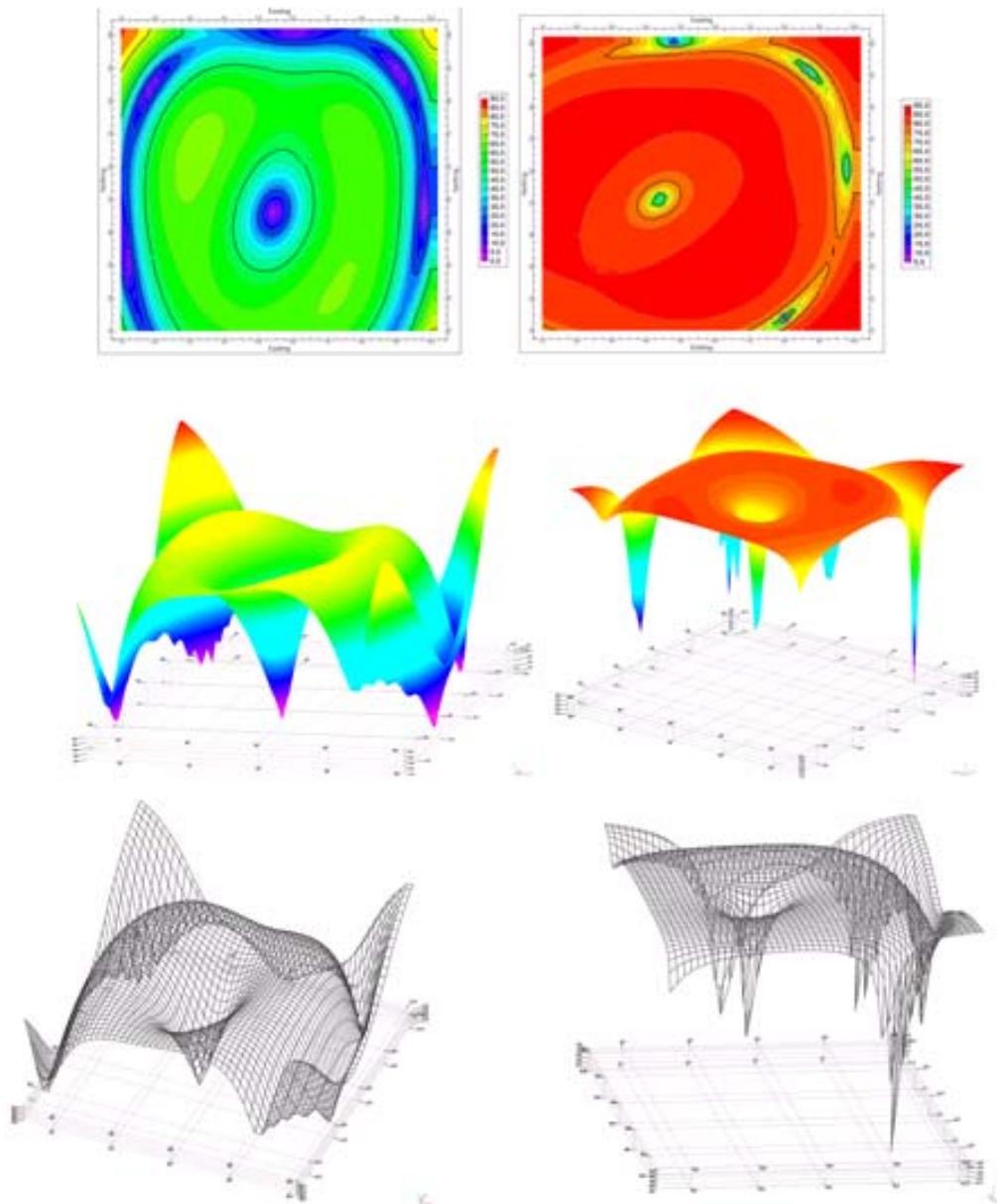


Figura 58: Imagen del gradiente en 2D y 3D, a la izquierda la población $n=100$, a la derecha $n=1000$. La leyenda indica de manera porcentual la tasa de cambio en la intensidad del proceso espacial.

A través de la estimación del gradiente, se puede afirmar que en una distribución normal bivariada:

- i. La localización de las tasas de cambio se produce con cierta *tendencia gradual* en forma de anillos concéntricos alrededor del punto central.
- ii. Cuanto más alejados del punto central, mayor es la significación de los cambios en la intensidad del proceso, es decir, existe mayor *irregularidad* cuanto mas lejos del punto central donde verosímilmente se produjo la acción.
- iii. Cuanto más intenso es el proceso (mas localizaciones) más acusados son los cambios de gradientes y más reducida la zona de estabilidad (estando adscrito al área inmediatamente alrededor del punto central de la distribución).

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES UNIFORMES.

En las siguientes páginas, se realiza el análisis estadístico de la variación espacial en un **proceso espacialmente uniforme**. El supuesto de partida se basa en que una población será uniforme cuando sus *componentes* se encuentren bajo un patrón de regularidad espacial. Este requisito implica varios supuestos:

- i. Las consecuencias materiales del proceso espacial causal debieran ser las mismas en cualquier punto de ese espacio.
- ii. Existe una tendencia a la máxima dispersión posible, de manera que localizar a un individuo disminuye la probabilidad de encontrar a otro en las cercanías, mientras que se ven incrementadas en tanto se alcance el valor medio de la dispersión. En este caso la media (\bar{x}) es mayor que la varianza (S^2).

A través de este tipo de proceso espacial, se pretende simular las características espaciales de determinadas acciones intencionales. Por ejemplo, la plantación de un olivar sigue esta dinámica espacial, cada una de las *plántulas* se sitúa a una distancia máxima de sus vecinas, que es una constante condicionada por las características topográficas, edafológicas, hídricas, desarrollo del árbol, tipo de maquinaria que pueda acceda hasta los árboles,... El resultado es una porción de espacio donde las entidades se encuentran espacialmente relacionadas con tendencia a la dispersión (algunos autores reconocen este tipo de relación como *negativa*), la máxima dispersión posible.

Probablemente, un comportamiento espacialmente uniforme pretende generar una superficie equilibrada, donde la probabilidad de localizar una entidad esté directamente relacionada con la distancia que exista entre cada una de las entidades localizadas según un proceso espacialmente uniforme.

En el siguiente análisis, se estudia una población espacialmente uniforme ($n = 325$) distribuida en un área de 10 metros x 10 metros.

Las distribuciones de puntos simuladas han sido convertidas en *campo escalar* a través del cálculo de tablas de contingencia, en las que el número de filas corresponde

al número de cuadrículas en el eje Y , y las columnas, al número de cuadrículas en el eje X .

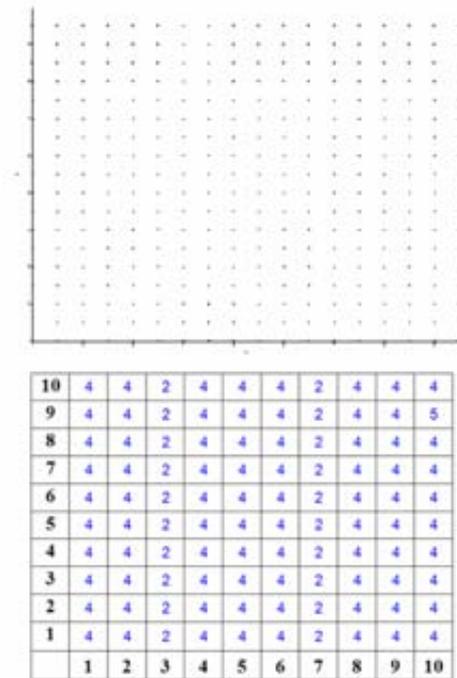


Figura 59: Distribución de puntos (arriba) y tabla de contingencia (abajo) de la población; $n= 325$

4.3.1. Análisis de primer orden sobre la distribución de puntos y el campo escalar

VISUALIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

Se parte del supuesto por el cual una distribución es *regular* cuando las observaciones se distribuyen con tendencia a la homogeneidad en toda el área de estudio.

Mediante el histograma 3D, se puede visualizar las **frecuencias** espaciales (en este caso sobre una retícula de 1×1), que supone una aproximación de *cómo* es la variabilidad de la distribución.

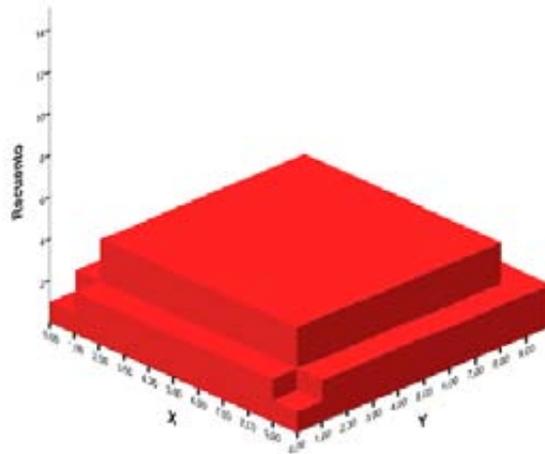


Figura 60: Histogramas de las poblaciones; n= 325.

La representación KDE queda del siguiente modo:

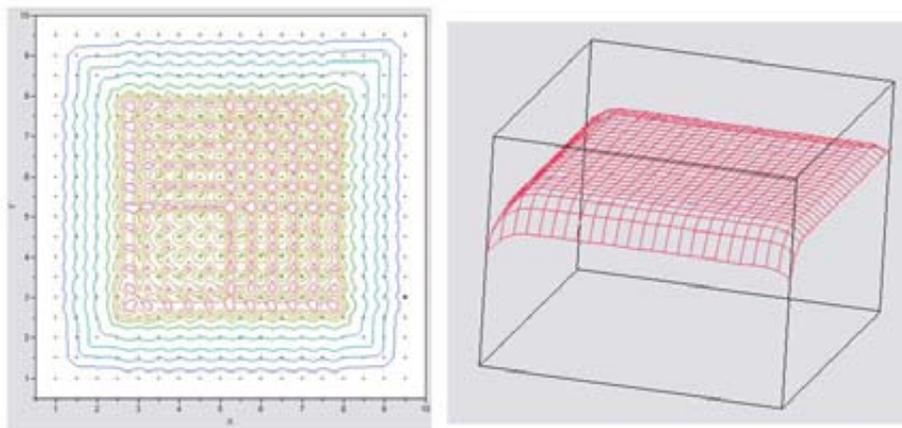


Figura 61: Densidad Kernel en 2D y 3D; n= 325.

La visualización de la población permite observar cómo en un proceso espacialmente uniforme existe una fuerte tendencia a la aparición de frecuencias similares en toda la superficie, lo que conlleva la existencia de una relación, ya que no existe posibilidad de distribuir y localizar a los miembros de una población en cualquier lugar y de cualquier manera en la superficie muestral.

Mediante el análisis visual se puede considerar que al existir la tendencia a establecer localizaciones uniformes, las entidades se sitúan en el espacio a una distancia constante con cada una de sus localizaciones vecinas. Ahora bien, si se somete la distribución a un experimento por el cual se reduce, de manera aleatoria, un número determinado de localizaciones, ¿cómo afectaría al comportamiento de la distribución?

Mediante un proceso aleatorio se ha seleccionado una población de $n = 179$ entidades, localizadas del siguiente modo:

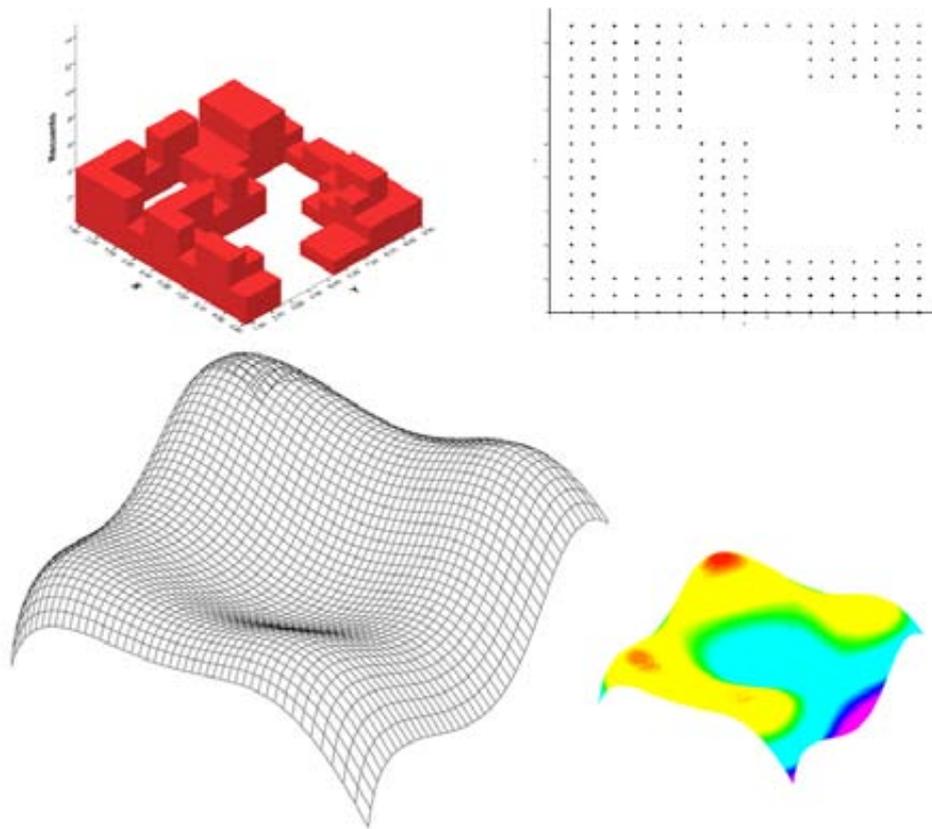


Figura 62: Composición visual de la nueva población $n=179$. Histograma 3D, nube de puntos, superficie de densidad sin trama de color y mostrando la gradación de la intensidad desde tonos fríos (frecuencias bajas) hacia cálidos (frecuencias altas).

El experimento permite contrastar, visualmente, que cuanto menor es la población, la tendencia a la *irregularidad* en las acumulaciones será mayor. La causa de este comportamiento se debe a la presencia de zonas vacías, las cuales se oponen a las áreas espaciales que cuentan con presencia de restos (que siguen estando situados a distancias constantes de sus vecinos), pero que ante la presencia del vacío a escala global (10x10) son interpretadas como agregaciones espaciales.

La introducción de la distorsión *vacío* implica que la distribución uniforme tenga un comportamiento espacial diferente, aunque su proceso causal haya sido uniforme.

DESCRIPTORES BÁSICOS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL:

MEDIDAS DE CENTRALIDAD

En el caso de *coordenados*:

DESCRIPTORES	n = 325	
	X	Y
Mínimo	1	1
Máximo	9,5	9,5
Media	5,26	5,26
Media Geométrica	4,58	4,58
Media Armónica	3,53	3,53
Centro de Dist. Mínimas	5,26	5,26

Tabla 7: Medidas de centralidad de las población uniforme de datos coordenados.

(Destaca el valor de la media de cada componente con el centro geométrico del área prospectada, consecuencia obvia según la naturaleza de la distribución)

En el caso del *campo escalar*:

	X (n=325)	Y (n=325)
Media	5,56	5,50

El punto central debiera ser el mismo (frecuencia y nube de puntos) y en este caso prácticamente lo es, oscila una centésima en la componente X. Probablemente, esa mínima distorsión se deba a la ponderación de las retículas y al tamaño muestral de las mismas, siendo lógica la dislocación con el centro geométrico del área de estudio.

MEDIDAS DE REGULARIDAD

En el caso de los *coordenados*:

	n= 325
Densidad media de puntos /m2	4,49

En el caso del *campo escalar*:

	Frec. (n = 325)
Mínimo	2
Máximo	5
Moda	4
Media	3,61
Desviación	0,81
Media Geométrica	3,48
Asimetría	-1,4
Curtosis	0,16
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0

Tabla 8: Medidas de centralidad de las población uniforme con los datos de *campo escalar*.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no aparece normalizada. En este caso se debe a que el valor de la media predomina sobre el resto de los casos de la distribución (casi el 80% de la distribución tiene el valor de la media). Los casos por encima de la media son mínimos (solo el 1%) y un 20% son inferiores a la media. Se recuerda que la normalidad o no normalidad unidimensional de las frecuencias no determina la condición espacial de la distribución, es decir, la variable de estudio no es una *variable regionalizada*, no depende del espacio.

El modo en el que se encuentra distribuida la población en las 100 cuadrículas, se sintetiza en que existen retículas por debajo del *valor modal*: 20, con igual valor que al *moda* son 79 retículas con el mismo valor modal (4) y 1 retícula por encima. Para el caso de la *media* (cuyo valor es 3,60 y se redondea con el valor 4), 20 retículas están por debajo, 1 por encima y 79 coinciden con el valor medio. Los resultados son tan similares debido a que el valor de la *Desviación típica* es relativamente baja (0,80), causada por la propia naturaleza del proceso espacial (uniformidad).

MEDIDAS DE AGRUPACIÓN

Desviación estandar

<i>de la Elipse</i>	<i>Long eje X (m)</i>	<i>Long eje Y (m)</i>	<i>Área elipse (m2)</i>
N=325	7,35	7,41	54,46

Si el área total es de 100 m2, muestra como es la tendencia de la población a distribuirse por todo el área muestral.

4.3.2. Análisis de segundo orden: *Estructura y Correlación espacial*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL (*Coordenados*)

1. Análisis del Vecino más Próximo (NNA):

	CONVEX HULL		RECTANGULO MINIMO	
	Prob (alea)	Índice	Prob (alea)	Índice
N = 325	0	2,15	0	2,10

Los resultados muestran no aleatoriedad en la distribución. Destaca el elevado valor del índice por el cual se muestra una tendencia obvia a la dispersión de la población.

2. Prueba de Multinormalidad (Test de MARDIA):

	Valor	P(normal)
Curtosis (n= 325)	-5,49	0

La distribución incumple la condición de multinormalidad, ya que el valor del P(normal) es inferior a 0,05.

Por otro lado, la distribución observada también es simétrica. Este resultado, sin embargo, es producto de la naturaleza de los datos simulados. Dada las características de las poblaciones simuladas, con unos límites cuadrados del área que enmarca la

localización de las distintas observaciones, en una escala micro-espacial, siempre y cuando el área haya sido explorada en su totalidad y con las observaciones tomadas con idéntica precisión, la distribución espacial tenderá a ser simétrica, dados los límites impuestos por la forma del área estudiada.

	Coefficiente
Simetría (n= 325)	0,02

2. K DE RIPLEY

La población objeto de estudio indica rasgos de dispersión, aunque lo más destacable es la fuerte fluctuación de la función, probablemente, debido a la naturaleza tan particular de la misma.

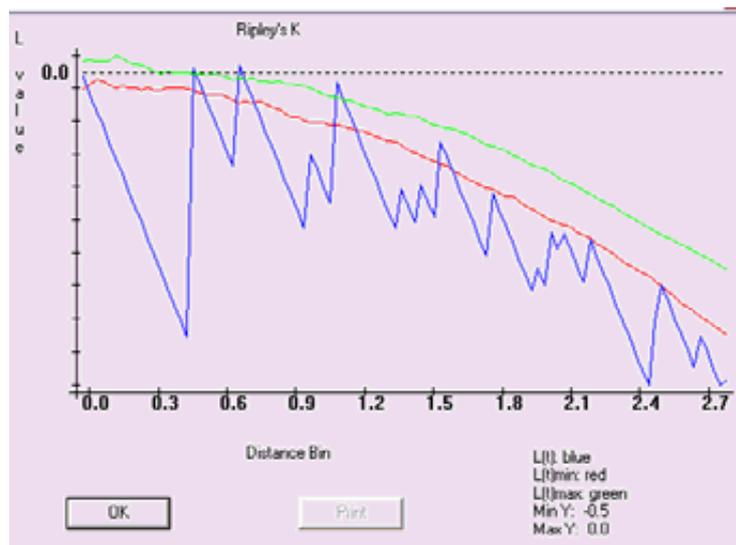


Figura 63: Grafico de la función K (d) de Ripley.

Aparentemente no tiende a la aleatoriedad, no obstante, en algunas distancias la función parece comportarse bajo las condiciones de aleatoriedad. (Es un efecto del algoritmo de la función K al calcular la tendencia de la distribución).

Quizás lo más significativo de este análisis sea la complejidad de la distribución, ya que la dispersión percibida por el estadístico tiene un valor constante (alrededor de 1) y probablemente eso hace que según determinadas condiciones métricas (distancias

mayores o menores), la población se comporte de modos diferentes. Existe una tendencia de la distribución hacia la dispersión.

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN (*Campo escalar*):

1. INDICE DE MORAN (I); INDICE DE GEARY (C) y CORRELOGRAMA:

En los cálculos realizados se ha empleado el criterio *Bishop's*, debido a que la relación entre esquinas de retículas adyacentes funciona mejor que la vecindad entre aristas (*Rook's*) o aristas y esquinas (*Queen's*).

	INDICE (n = 325)
Moran's I	-0.28
Geary's C	1.34

Los valores obtenidos en los test arrojan un resultado de autocorrelación negativa, indicando la tendencia de dispersión espacial.

El correlograma de Moran mostró el siguiente resultado:

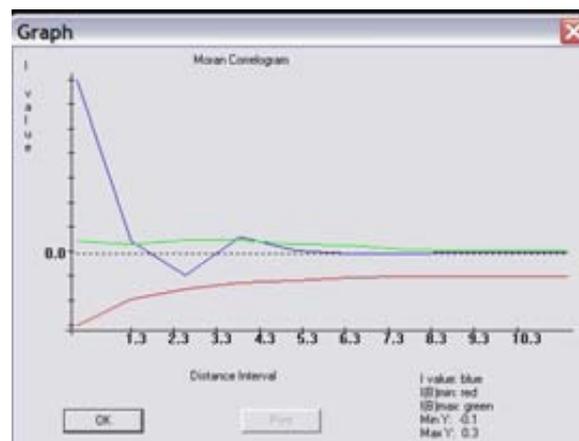


Figura 64: Grafico de la función Correlograma.

En este caso la distribución espacialmente uniforme muestra una fuerte oscilación, para distancias inferiores (aprox.) a 1,2m se tiende a la agregación. Entre esta distancia

y 2,5 (aprox.) se tiende a la dispersión. Se produce un tercer intervalo que culmina de nuevo en la agregación cuando el valor de la distancia se sitúa en torno a 4m.

Este comportamiento, probablemente, se deba a la naturaleza de la distribución y cómo el correlograma está interpretando los datos. Así que, según el valor de la distancia, la distribución pueda tener un tipo de comportamiento diferente sobre su densidad (p.ej. agregación a menos de 1 metro, dispersión en torno a 2,5m,...). La serie tiende a la dispersión, como se comprueba mediante la K Ripley, pero en esa misma prueba se percibe la fuerte oscilación de la función, que probablemente, sea la que rige el comportamiento del correlograma.

2. SEMIVARIANZA:

En el caso analizado (población de 325 individuos en un área muestral de 10x10), se cuenta con el 100% de la distribución, con lo que el operador *semivariograma* muestra la relación de cambio entre todos los pares de puntos de la población, basándose en el muestreo completo y no en una parte de dicha población.

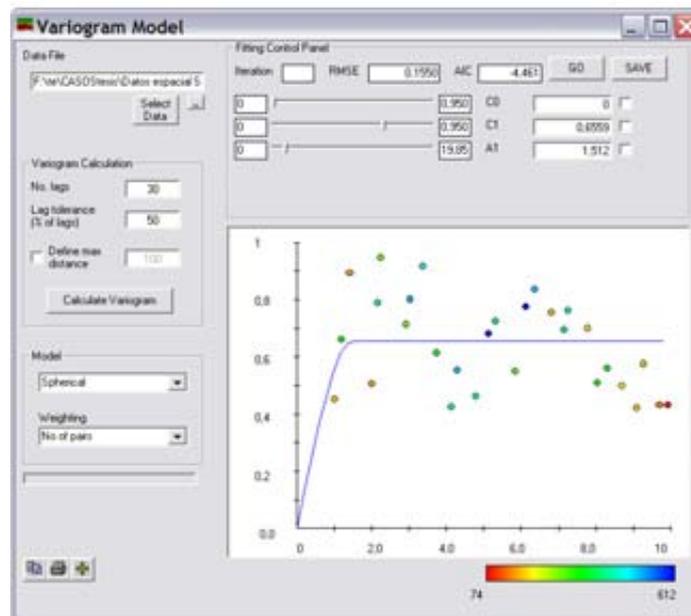


Figura 65: Imagen del semivariograma.

Los resultados del semivariograma (modelo esférico) determinaron que la población está autocorrelacionada.

Algunos comentarios acerca de los resultados obtenidos sobre el semivariograma muestran que:

- i. El modelo teórico, función en color azul, adopta la forma prototípica de los modelos que reconocen la presencia de autocorrelación espacial.
- ii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, muestra que la zona de influencia (*distancia*) a partir de la cual la autocorrelación es nula, se sitúa en torno a 1,5 metros.
- iii. El *efecto pepita* no existe, debido a las condiciones de control en la creación de las distribuciones.

Si se aprecia con detalle la salida gráfica de los puntos, estos representan una especie de oscilación que podría haber sido causada por la presencia de dos tendencias espacialmente normales (representada mediante la línea roja) en la distribución espacial analizada:

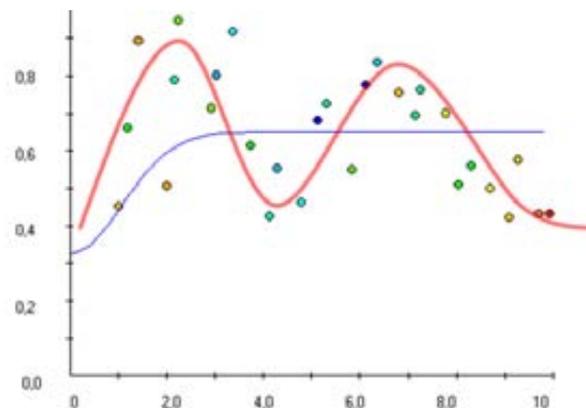


Figura 66: Detalle de la nube de puntos del semivariograma.

Quizás este efecto se deba a la asignación de valores de frecuencia ($frec = 2$) a una serie de cuadrículas ubicadas en zonas concretas del área muestral⁴⁷. Por ello, la serie se encuentra en dos tramos diferenciados:

⁴⁷ La causa de este valor anómalo se debe al criterio de conteo, ya que al partir del centroide de cada retícula, existe una acumulación en los bordes de las misma ¿se incluye o no se incluye el valor que está en límite de la cuadrícula? La solución informática es quebrar las series (asignando ese valor de 2 a algunos centroides de retículas) consiguiendo que el conjunto, si se mantenga el valor de uniformidad.

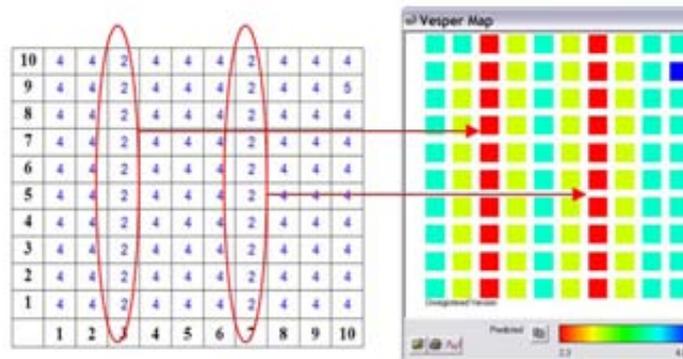


Figura 67: Campo escalar a la izquierda, representación gráfica de valores (Imagen obtenida mediante software Vesper) empleando escala de colores cold-hot (de mayor a menor frecuencia por retícula).

Al emplear una población teórica que está construida bajo unas condiciones controladas, la representación del comportamiento espacialmente uniforme refleja una tendencia canónica de regularidad espacial, es decir, las entidades se localizan a una distancia constante las unas de las otras.

En base a las circunstancias que rodean el estudio de la uniformidad, se continúa con el análisis de la población introducida. Esto permitirá determinar el tipo de tendencia espacial en un proceso espacialmente uniforme que ha sido “truncado”

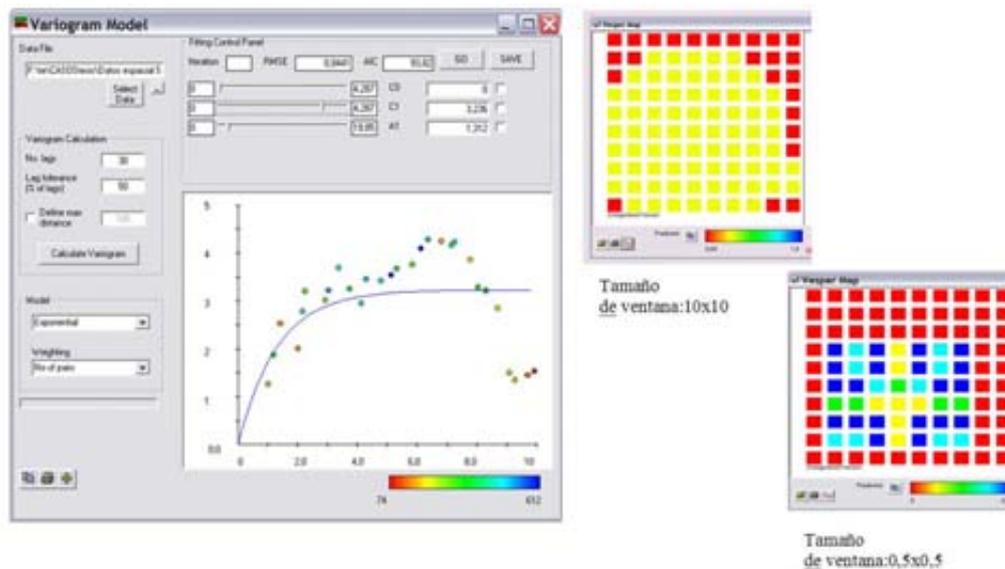


Figura 68: Semivariograma de la distribución ($n = 169$) a la derecha, representación bidimensional de valores empleando escala de colores cold-hot (de mayor a menor frecuencia por retícula) a diferente tamaño de resolución.

La autocorrelación está en torno a 1,3 m. con un valor de varianza relativamente elevado. Si se atiende sólo a la caracterización del semivariograma, se reconoce que la

población está autocorrelacionada, pero no se puede saber el tipo de proceso espacial que la generó, ni si la tendencia de la distribución se dirige hacia la agregación o la dispersión. Al variar el tamaño de la resolución gráfica (tamaño de la ventana 0,5x0,5) se puede apreciar tendencias, aunque la vinculación a la dispersión o a la agregación espacial no se puede confirmar.

Los resultados del semivariograma, en ambos casos han mostrado la existencia de autocorrelación (dependencia entre las localizaciones espacialmente distribuidas) en base a la información aportada por las características que describen a la función semivarianza. También, se pone de manifiesto que ante un cambio en la población uniformemente distribuida (truncamiento), la relación espacial persiste, pero es evidente que no existe criterios para reconocer la pauta que define a una población espacialmente uniforme: un valor de dispersión constante.

4.3.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio espacial

La superficie polinómica de la distribución espacialmente uniforme queda del siguiente modo:

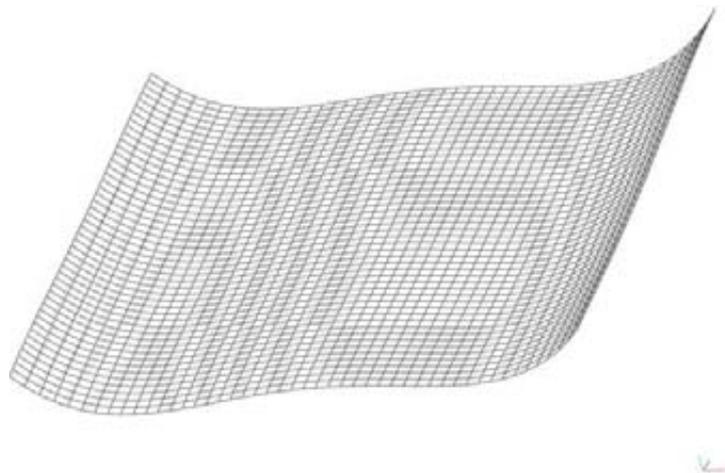


Figura 69: Superficie polinómica de orden 4, desde la que se representa la población espacialmente distribuida $n = 325$.

La ecuación que caracteriza a esta superficie es la siguiente:

$$f(x) = 5,3 - 0,01x - 0,008(x-5,2)^2 + 0,001(x-5,2)^3 + 0,0007(x-5,2)^4$$

La falta de oscilación en la superficie polinómica conduce a una interesante consideración acerca de la intensidad en tanto al número de entidades por unidad de superficie en un proceso espacialmente uniforme: No afecta particularmente a la forma de la función polinómica, ya que esta seguirá presentando rasgos típicos de regularidad.

De acuerdo con el principio general de distribución uniforme expuesto más arriba, si la acción fue espacialmente intencional, ésta se encuentra orientada a una serie de localizaciones concretas. En este caso, la acción toma varias localizaciones y su *gradiente* debería reflejar una tasa de cambio considerablemente baja, ya que la frecuencia espacial en cada una de las retículas de toda la superficie interpolada, debería ser muy parecida.

Esta apreciación se contrasta en la superficie polinómica, en la que la constante espacial de las frecuencias se pone de manifiesto en que la superficie interpolada no muestra apenas cambios considerables en la pendiente, de hecho, prácticamente no existen pendientes (superficie cuasi-plana).

El *gradiente* del polinomio queda del siguiente modo:

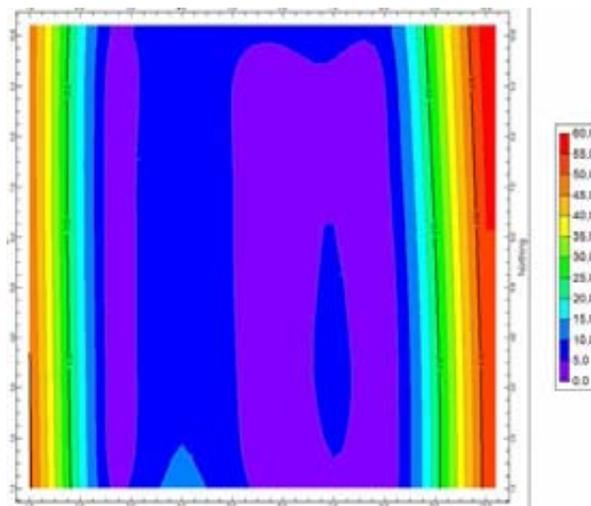


Figura 70: Gradiente de la distribución en 2D. La leyenda indica de manera porcentual la tasa de cambio en la intensidad del proceso espacial.

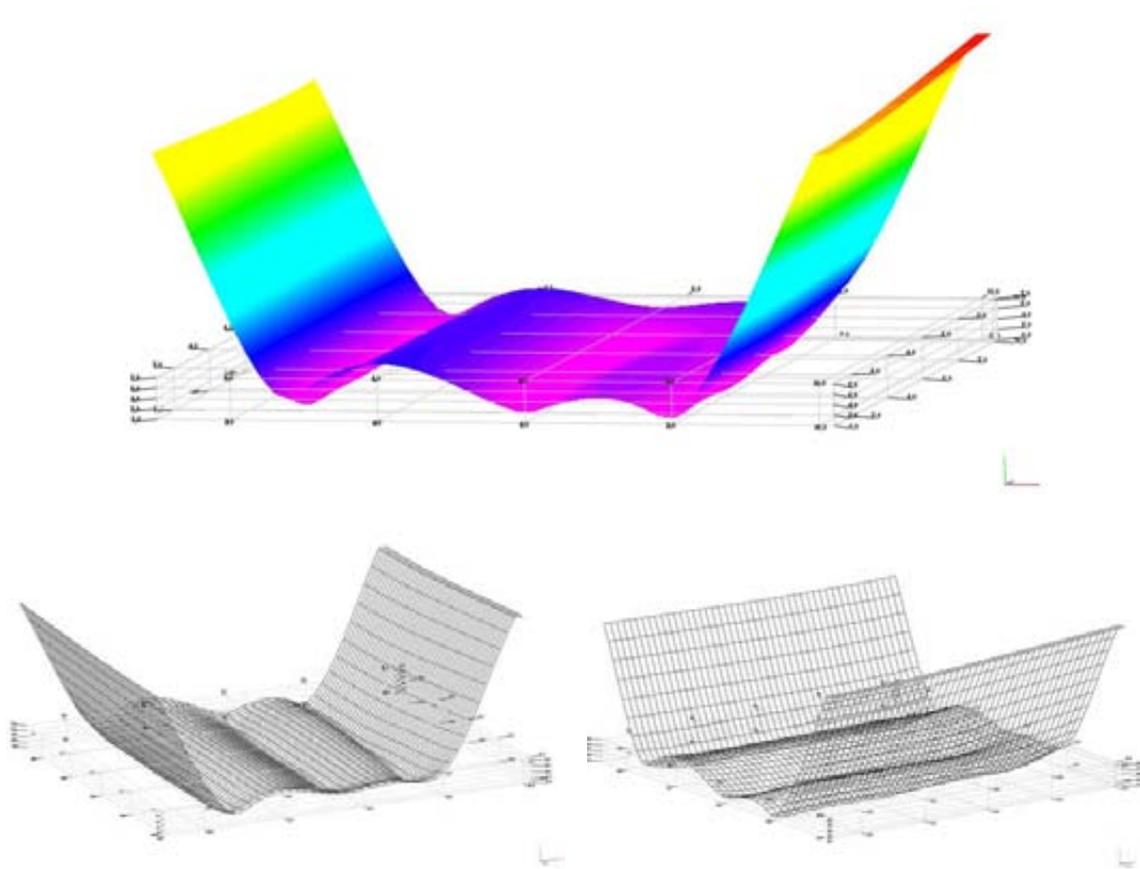


Figura 71: Imagen del gradiente en 2D y 3D, a la izquierda la población.

Según la imagen y los pesos de las diferentes tendencias que muestra la gradación espacial de la variabilidad, se propone como umbral de cambio un valor aproximado del 15%. La elección de este valor se debe a la naturaleza de la muestra y al grado de significancia sobre las particiones. Así que, se puede considerar dos grandes conjuntos a la hora de caracterizar la tasa de cambio:

- i. Apenas existen cambios, donde el cambio en los valores de frecuencia no es mayor al 15 %. Su ubicación espacial corresponde en el eje X al intervalo (2.5, 8) y en el eje Y, a toda la abcisa (1, 10).

La oscilación que se produce en el interior de esta área, incremento de la oscilación (tonalidad azul) es un resultado netamente artificial debido al sistema de conteo de las frecuencias espaciales en términos del reticulado 10x10. Existen dos filas donde los valores de frecuencia, que se toman son dos.

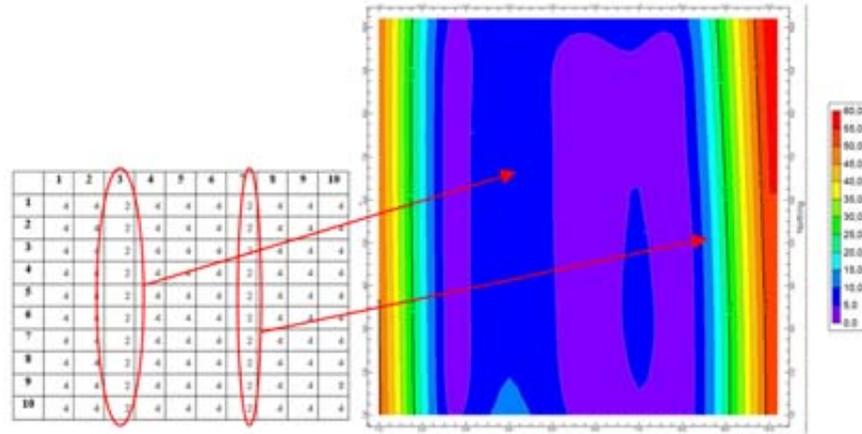


Figura 72: Detalle de los valores de campo escalar detectados por el gradiente

- ii. Cambios muy acusados, donde el cambio en los valores de frecuencia es mayor al 15 %. Su ubicación espacial corresponde en el eje X a los intervalos (1, 2) y (8, 10); en el eje Y toda la abcisa (1, 10)

En principio, todo el *gradiente* debería ser igual y esto no ocurre debido a los algoritmos implementados en las operaciones de *interpolación* y de *gradiente*, ya que estos algoritmos introducen una distorsión en los límites laterales, produciendo la deformación apreciada tanto en la superficie del polinomio, como en la del gradiente. Aunque exista ese desfase, la cuestión principal no se centra en ese error, sino en el tipo de consideraciones que conlleva una distribución espacialmente uniforme: tendencia espacial al no cambio.

4.3. CONSIDERACIONES

A continuación, se realiza una serie de *consideraciones* acerca de los resultados obtenidos en el análisis de las poblaciones teóricas (aleatoria, agregada, uniforme).

La elección de los contenidos a tratar obedece a una serie de circunstancias que se han ido detectando a lo largo del análisis, que guardan una especial relevancia para el desarrollo de esta tesis. Por ejemplo: la interpretación del *gradiente espacial*, la implicación del número de individuos que representa un comportamiento espacial, la congruencia analítica según la naturaleza de los datos,... y sobretodo, la consideración de casos empíricos en los que aplican la analítica propuesta.

En oposición al análisis e interpretación de las poblaciones teóricas (las cuales han sido diseñadas *ex profeso* para contrastar determinadas cuestiones), las poblaciones empíricas reúnen una serie de circunstancias y/o inconvenientes que obligan a la constante adaptación del proceso analítico a las circunstancias de las distribuciones empíricas. Cuestiones como: formato de datos, factor de escala de percepción de la variabilidad, la forma del área prospectada, el número mínimo que valida un análisis, la significancia de unas categorías frente a otras,..., que se convierten en atenuantes comunes en los casos prácticos y que en los casos teóricos suelen estar controlados para evitar determinados tipos de distorsiones.

Las condiciones normales de una investigación empírica suelen reflejar desajustes entre los modelos de actuación y resolución teóricos, frente al marco real de aplicación de un protocolo científico en la resolución de una determinada problemática. Bajo este tipo de circunstancias, se han considerado los contenidos ha desarrollar en las siguientes páginas, en las que se procura dar cabida a cuestiones que afectan a la relación entre casos teóricos y casos reales.

La discusión no gira en torno a la defensa de un estadístico frente a otro en función de casos, sobretodo, porque en la disciplina del análisis espacial, ya existe abundante bibliografía dedicada a esa temática. Tampoco, se realiza una comparación entre las poblaciones estudiadas, ya que es obvio que debido a su naturaleza, los comportamientos de cada una son particulares. Por ello, se analiza cómo cada una de las poblaciones responde ante una serie de circunstancias, fruto de condiciones reales, que precisan soluciones eficaces, válidas científicamente y en muchas ocasiones, rápidas.

La mecánica del texto se vértebra en la formulación de unas preguntas concretas, cuyas respuestas surgen de la interpretación de los casos teóricos, permitiendo de este modo una argumentación global con validez para casos empíricos.

Congruencia analítica a la hora de emplear diferentes tipos de datos (coordenados y frecuencias) para la descripción de un mismo fenómeno espacial:

¿Cómo afecta a los resultados el empleo de un tipo u otro de datos?, ¿es necesario usar ambos?, ¿Cuál de los dos formatos refleja mejor la variabilidad espacial?

Es evidente, que el formato en el que se presenten los datos espaciales determina el tipo de pruebas que se puedan llevar a cabo sobre la distribución espacial objeto de estudio.

Por ello, se asume que cada formato cuenta con pros y contras a la hora de caracterizar la variabilidad espacial. Si se describe una determinada distribución espacial en función de la problemática y el tipo de materialidad percibida, se determinará la elección de un formato de datos espaciales indicando las cualidades del fenómeno objeto de investigación.

El análisis de segundo orden (*estructura y correlación*) parte de la condición por la cual indistintamente al formato de datos empleado, los resultados de las pruebas serán congruentes entre sí, es decir, cabe esperar que los resultados de los diferentes estadísticos tengan las mismas implicaciones (Por ejemplo, en una misma distribución, que cuente con ambos formatos de datos, no podría producirse la circunstancia por la cual el resultado de la función K de Ripley fuera aleatorio y el índice de Moran indicara agregación espacial). Esto implica que si se realiza el análisis de *segundo orden* sobre un único tipo de datos, sus resultados definirán adecuadamente el tipo de variación espacial detectada.

Ahora bien, para realizar el cálculo de la superficie polinómica y el gradiente espacial, es necesario tener datos *geoestadísticos* o de *campo escalar*, lo que significa que necesariamente se precisan de un tipo de datos (asociados a la frecuencia espacial) para poder realizar el análisis completo de la variabilidad. Por otra parte, aunque pudiera parecer contradictorio, en esta tesis se defiende el uso de datos coordinados para la

caracterización de la variabilidad espacial (siempre considerando las circunstancias inherentes a la investigación planteada), ya que con este tipo de datos se pueden realizar conversiones a *campo escalar*, variando el número de coordenados ante diferentes tamaños en la retícula muestral. Por el contrario, si los datos están condicionados por el tamaño de la retícula, esto determina el análisis, ya que se produce una distorsión elevada si se plantea variar el tamaño de la misma (en definitiva, esta operación de cambio en el tamaño de la retícula supondría un cambio en la escala de observación de la variación espacial).

Finalmente, los formatos de datos empleados en un análisis de la variabilidad espacial no son mejores o peores, sino que deben ser ajustados a las necesidades analíticas de la investigación planteada. Así que, si el objetivo es establecer la tasa de cambio, mediante la cual se pueda definir la dinámica espacial de agregación/dispersión, será necesario contar con datos de frecuencia, pero siempre se debe considerar el tamaño de la retícula muestral y entender de qué manera está influyendo en la percepción/determinación del fenómeno. Por ello, el uso de datos espacialmente coordinados permite operar desde diferentes tamaños de retícula, convirtiéndose en datos de *campo escalar* ajustados al tamaño de retícula que mejor defina el comportamiento espacial.

Número y/o cualidad de *individuos* de las poblaciones objeto de estudio:

¿Cuántos individuos son necesarios en la determinación de un proceso espacial? o en términos cualitativos: **¿Cómo debe ser la calidad de los individuos en la determinación de un proceso espacial?**

Existen fenómenos que precisan gran cantidad de datos o que sus cualidades se encuentren muy bien caracterizadas para poder determinar un proceso espacial. Sin embargo, otros acontecimientos no necesitan de un número elevado de casos o de unas cualidades particulares que los diferencien del resto, porque sólo con su existencia ya se encuentran bien diferenciados y tienen suficiente significado.

La lógica en estadística y por ende, en cualquier investigación científica, define un número mínimo de individuos para que el conjunto tenga algún tipo de significancia. En arqueología, como en otras disciplinas, existen circunstancias que comprometen esos

requisitos debido a la propia naturaleza del objeto investigado (¿Acaso la presencia de una sola *termoalteración* no está indicando por si misma significancia?)

La solución a esta pregunta no se encuentra en la determinación de un número de casos que den significancia a una fenomenología concreta, ni tan siquiera al tipo de calidad de los individuos que compongan a dicha población. Para estimar el número adecuado o la calidad, será necesario contextualizar la materialidad y la espacialidad de ese conjunto, que varía en función a otros conjuntos espacial y materialmente individualizados. Sólo desde esa relación, se puede establecer los mínimos necesarios que determinen si un conjunto es o no lo suficientemente significativo.

Límite de la distribución de la población, cuestiones relacionadas con el *efecto borde*:

¿Qué puede implicar el *efecto borde* sobre el resultado descriptivo de las distribuciones espaciales?, ¿Qué significado tiene el *efecto borde* sobre el resultado analítico de la superficie polinómica y el gradiente espacial?

El *efecto borde* es el resultado de la presencia de cambios bruscos en torno a algún o varios límites de la distribución. El caso más típico es el límite de una distribución producido por algún tipo de barrera o frontera espacial, que corta “de cuajo” la distribución. Por ejemplo, si se hace un análisis del carácter agregado o disperso sobre una población de árboles en una isla, los ejemplares más cercanos a la costa tienen siempre menos árboles alrededor con lo que la distancia al más cercano será posiblemente mayor. En arqueología, esto se puede producir por cuestiones estructurales (presencia de cabañas, pavimentos,...) o por el límite artificial a la hora de definir el área excavada.

El *efecto borde* condiciona la determinación del proceso espacial acontecido sobre el área de estudio, ya que en ocasiones, el grado de distorsión es tan significativo que puede deformar las medidas de la variación usadas para medir el fenómeno.

Para el análisis, la presencia de este efecto, puede inducir a una reinterpretación sobre las causas de la variación espacial (se recuerda el caso de la distribución teórica uniforme), ya que aporta deformación espacial y tasas de variación en zonas donde realmente no se producen.

En ocasiones, para solucionar este problema bastará con la ampliación del área excavada, con ello se puede confirmar si efectivamente existe un corte brusco o es una degradación estructurada. Si sucede lo primero, quizás se puedan conocer las causas, aunque no será posible neutralizar completamente la presencia del efecto. En estas circunstancias se deberá tener en cuenta sus implicaciones a la hora de interpretar la variabilidad investigada.

La interpretación de la variabilidad espacial: la superficie polinómica y el gradiente como objeto final del análisis espacial:

¿Qué tipo de vínculo existe entre superficie polinómica y el gradiente espacial?

En la *superficie polinómica*, se muestra *cómo* se localizan y distribuyen los valores de frecuencia en el área muestral. La imagen generada es una reproducción real de la deformación espacial a la que se encuentran sometidas las retículas, según los valores de frecuencia contenidos en ellas. Con ello, se puede determinar el grado de deformación que pueda existir entre retículas vecinas. Si es elevado, se puede considerar que existe poca relación entre retículas adyacentes, mientras que si el cambio es gradual o es imperceptible determinará la existencia de relación espacial entre retículas.

El *gradiente* establece la ubicación y el valor de la tasa de cambio espacial en las diferentes regiones del espacio muestral. Existen dos argumentos fundamentales a la hora de interpretar el gradiente. Si representa a una superficie con unas tasas de cambios elevadas, significa que no existe una estructura espacial (a esa escala) lo suficientemente concisa para poder caracterizar la atracción o la repulsión de acciones sobre una/as determinada/as región/es del espacio. Por el contrario, si la tasa de cambio es baja o moderadamente baja, entonces, se podrá atribuir la atracción/repulsión entre las acciones en una determinada región.

Para establecer la atracción/repulsión espacial de las acciones sobre un conjunto de localizaciones, se debe integrar la información generada (por separado) del gradiente y de la superficie polinómica. Por tanto, al establecer la relación entre las localizaciones

de los valores de la frecuencia y la tasa de cambio espacial, se puede definir la dinámica espacial, en términos de:

- i. Si la localización de los valores bajos de frecuencias coincide (aproximadamente) con la localización de los valores de tasa de cambio bajos, entonces, se dice que en esa región existe una tendencia a la *repulsión* espacial para la realización de un determinado tipo de acciones.
- ii. Si la localización de los valores altos de frecuencias coincide (aproximadamente) con la localización de los valores de tasa de cambio bajos, entonces, se dice que en esa región existe tendencia a la *atracción* espacial para llevar a cabo un determinado tipo de acciones.
- iii. Indistintamente a que los valores de frecuencia sean altos o bajos, si la tasa de cambio se considera elevada, entonces, no existirá posibilidad en la determinación de la atracción o repulsión espacial.

Capítulo 5

Análisis espacial de poblaciones empíricas.

Índice General

5.4. CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO.

5.5. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA FAUNA DEL YACIMIENTO *TUNEL VII*:

5.5.1. Categoría *AVE*.

5.5.1.A. Episodio A

5.5.1.B. Episodio F

5.5.2. Categoría *LOBO MARINO*.

5.5.2.A. Episodio A

5.5.2.B. Episodio F

5.5.3. Interpretación de resultados.

5.6. ANÁLISIS ESPACIAL DEL YACIMIENTO *FORTÍN OTAMENDI*:

5.6.1. Análisis de Primer Orden sobre *coordenados* y *campo escalar*.

5.6.2. Análisis de Segundo Orden: *estructura* y *correlación* espacial.

5.6.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio.

5.6.4. Interpretación de resultados.

5.1.CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

El contenido de este capítulo se estructura en torno a la aplicación empírica de lo expuesto en los capítulos anteriores. Para ello, se han seleccionado dos casos arqueológicos que sirven para ilustrar tanto la perspectiva de trabajo (espacio relacional) como la capacidad analítica de las herramientas propuesta en esta tesis.

Así que, el objetivo de este capítulo es realizar una ilustración de las técnicas en base a problemas reales y evaluar los resultados obtenidos.

Los dos casos desarrollados en las siguientes páginas, muestran divergencias en muchos aspectos: coyuntura histórica, social y material, problemática espacial a resolver, el formato de dato espacial empleado en los trabajos de campo, los fines de cada proyecto, y el tipo de tendencia espacial que se ha podido contrastar tras el análisis.

Todo ello, hace de estos dos casos una ejemplificación equilibrada y congruente con los contenidos teóricos de esta tesis, permitiendo evaluar tanto la validez, como las carencias de las técnicas usadas.

El primer caso (*Yamanas*) responde a un grupo social que se extinguió en el siglo XIX (de nuestra era). Su emplazamiento era el extremo sur del continente americano (Tierra del Fuego, Argentina). Se barajan unas cronologías en torno a los 5000-6000 años de su llegada a la zona de los canales de la Tierra del Fuego (S. y S.-W. de la isla).

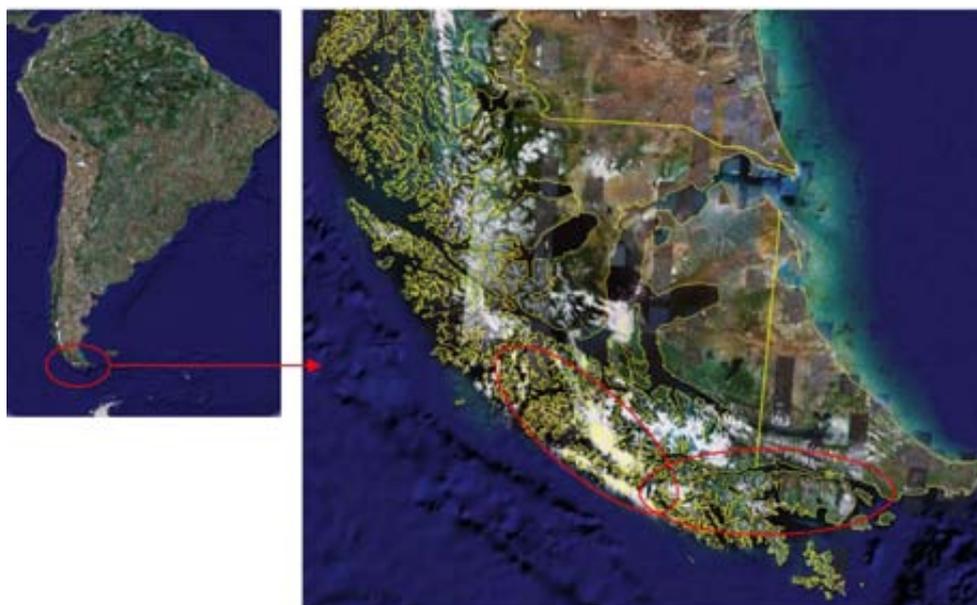


Figura 73: Aproximación geográfica al área (enmarcada en elipses rojas).

La investigación realizada sobre este grupo social ha sido y sigue siendo, tanto del lado argentino (⁴⁸), como del español (⁴⁹) bastante extensa. Dentro de esta dinámica se integra el yacimiento objeto de análisis (Tunel VII), que se asocia a una cronología tardía (aproximadamente principios del XIX), donde la dinámica de aculturación por parte de la sociedad occidental europea sobre la sociedad *yamana* era una realidad que se venía llevando a cabo e incrementando su intensidad, desde (aproximadamente) el siglo XVIII.

El sitio se localiza en la costa norte del Canal Beagle a 54° 49' 15'' latitud sur y 68° 09' 20'' (Orquera & Piana 1995b). El yacimiento ha sido excavado en sucesivas campañas (desde 1988 hasta 1993). La excavación fue realizada en extensión ocupando una superficie de 32 m2 en forma rectangular (eje mayor 8m, eje menor 4m). Con ello, se pudo excavar tanto el interior de la posible cabaña, como los alrededores de la misma.

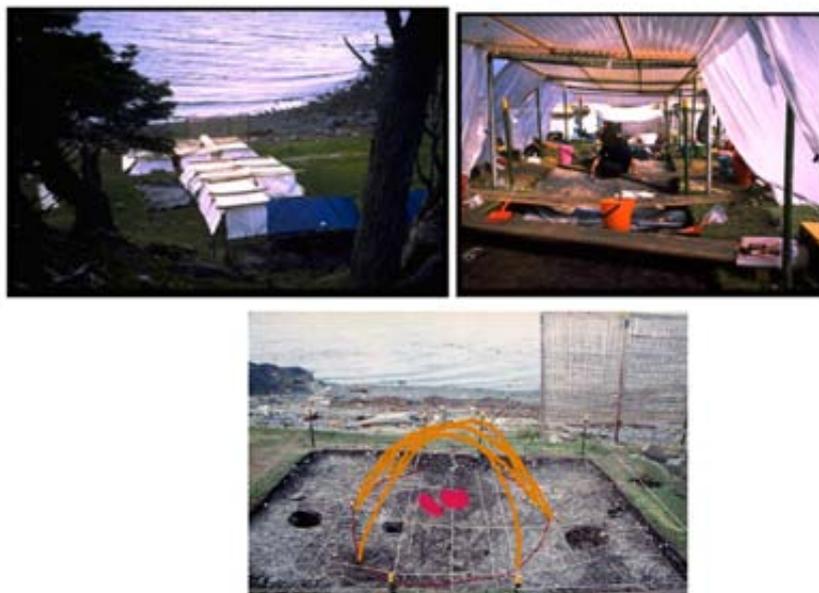


Figura 74: Imágenes del yacimiento, parte inferior propuesta de ubicación de la cabaña

El yacimiento presenta una secuencia de de hasta 9 reocupaciones (10 niveles) Debido a la naturaleza formativa (acumulaciones intencionales de conchas marinas por parte de agentes sociales) del mismo, se puede establecer una serie de consideraciones

⁴⁸ Destaca la producción científica de los investigadores L. A. Orquera y E. Piana, junto a otros miembros integrados en su equipo de investigación.

⁴⁹ Para saber más sobre esta temática se recomienda los trabajos realizados por varios autores, destacando la producción científica del Dr. J. Estévez y la Dra. A. Vila, junto a los trabajos de diferentes equipos y proyectos de investigación coordinados por ambos doctores.

estratigráficas que permiten definir el proceso de formación y compactación de acumulaciones de conchas (Piana y Orquera 1992, 1995b), lo que hace que las acumulaciones sucesivas no puedan mezclarse y ser interpretadas erróneamente.

Para el estudio realizado en las siguientes páginas, se ha propuesto trabajar con dos ocupaciones concretas: *primera* y *sexta*. La elección de estos niveles responde a la diferencia existentes entre ambos niveles, ya que el proceso de acumulación de restos de acciones sociales y naturales, ha generado una modificación ostensible en las condiciones microtopográficas.

Aparte de la información estrictamente arqueológica, se cuenta con información de origen etnográfico desde la cual se pueden establecer algunas hipótesis de trabajo complementarias acerca de la variabilidad espacial observada. Probablemente, la información etnográfica acerca de la dinámica del *espacio construido* referido a cuestiones como la elección del emplazamiento y sobretodo, a la distribución de acciones en el espacio mediante las cuales se puede establecer la dinámica formativa del sitio (acumulación de conchas como gestión de residuo y como elemento estructural), permite una mejor interpretación acerca de la variabilidad espacial investigada mediante experimentación.



Figura 75: Fotomontaje donde se documentan como era una cabaña yámana (izquierda), a la derecha una experimentación donde se replican diferentes formas de cabaña. Parte inferior, interpretación de la ubicación de la cabaña en base al registro arqueológico apoyado en la información etnográfica y experimental.

A través de la combinación de los diferentes tipos de información, el análisis espacial puede, mediante una descripción exhaustiva de la variabilidad espacial observada, llegar a una interpretación causal de la misma, estableciendo la dinámica espacial de determinadas acciones en base a la localización espacial de los restos materiales.

El segundo caso de estudio trata sobre una realidad social muy diferente, la historiografía argentina define a ese periodo como: *la conquista del desierto o la campaña del desierto*. El yacimiento es un acuartelamiento de pequeña entidad (fortín) conformado por foso, empalizada y con edificios internos (panóptico, barracones,...), situado en la avanzadilla de la línea de frontera en torno al periodo de 1850-1870. El fortín Otamendi se encuentra vinculado con otros asentamientos contemporáneos como el fortín Miñana (también excavado por el Dr. F. Gómez Romero) y el fuerte de la ciudad de Azul.

Su localización está en la provincia de Buenos Aires, partido de Azul (Latitud 37°19'37.15"S. Longitud 60° 6' 28. 50"W.).



Figura 76: Aproximación geográfica al área (enmarcada en elipses roja y amarilla).

Las condiciones naturales son las típicas de la *Pampa* húmeda argentina. El yacimiento se encuentra en una zona donde el relieve es prácticamente plano (una media de 250 m sobre el nivel del mar), en un área donde existen múltiples lagunas, próximo a una de ellas (la Barrancosa) y próximo a arroyos de agua dulce.

El *Fortín Otamendi*, tras 10-12 años de uso, fue abandonado debido al afianzamiento/estabilidad sobre los territorios (asentamiento de poblaciones en pequeños núcleos y en estancias, desaparición de las incursiones del “*Malón*”) y el continuo avance de la línea de frontera hacia el Sur.

El yacimiento presenta un único nivel de ocupación y se encuentra organizado en torno a una superficie de unos 600m², estructurado en forma anular con foso y empalizada. Probablemente, el corral para los caballos estaba fuera, en otra estructura anexa.

En el interior de la estructura fortificada, se distribuían barracones y espacios abiertos (patio de revista,...), dedicados al desarrollo de determinadas actividades propias de la guarnición emplazada en el fortín (F. Gómez Romero 2007).



Figura 77: Recreación del interior de un *fortín*. Imagen tomada de http://www.venadovirtual.com.ar/guia_turistica/hinojo/images/fortin.gif

La realidad social existente en este tipo de enclaves pone de manifiesto cuestiones vinculadas a la dinámica de la frontera, que no suele aparecer en las fuentes escritas (Mandrini, 1982; Palermo *et al* 1991) en donde la permeabilidad y las relaciones entre los grupos sociales de un lado y otro de la supuesta línea divisoria, eran mucho más dinámicas y complejas de lo que se creía.

Mediante las excavaciones arqueológicas se ha contrastado una serie de acciones que no se corresponden con las fuentes existentes acerca de la vida castrense llevada en estos emplazamientos (algunos ejemplos: la presencia de restos de talla, una actividad

que en principio no se asocia a la guarnición destinada en los fuertes, dinámicas de consumo alimentario bien diferentes a las que citan la documentación oficial,...).

En el caso concreto del *Fortín Otamendi*, la problemática arqueológica se encuentra en sus primeras fases. Tras dos campañas se ha excavado un área inferior al 6% del total del yacimiento. Según las circunstancias propias del yacimiento, se plantea desarrollar una metodología congruente con la materialidad que potencialmente se pueda recuperar y las técnicas de trabajo de campo.

Debido a que la superficie del recinto excede los 600 m², se pretende conocer el emplazamiento de las estructuras (edificios) y cómo es la articulación espacial en el interior del fortín. Los resultados obtenidos hasta ahora permiten diseñar una nueva estrategia de trabajo, en la que el registro se realizará en base a un reticulado de 0,5x0,5m, sustituyendo la recolección de datos coordenados. Con ello, se consigue documentar más extensión y se garantiza la percepción, mediante ese tamaño de retícula, del comportamiento espacial de las diferentes distribuciones existentes.

5.2. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA FAUNA DEL YACIMIENTO *TUNEL VII*

El análisis realizado se ha centrado en una selección de la información existente. La elección de las categorías nominales: *ave* y *lobo marino* y los *episodios* de ocupación *A* y *F*, responden al tipo de información social, en primer instancia y espacial, en segundo término, que se puede extraer sobre la materialidad arqueológica identificada bajo esa categorización. Además, se ha tenido en cuenta factores cuantitativos (número de individuos de cada población) y de calidad de los restos.

La elección de las categorías nominales *ave* y *lobo marino*, se debe a que la acción causal más probable en su localización y distribución es la gestión de *residuos*. El análisis de la materialidad puede determinar múltiples aspectos acerca de la categoría nominal. Por ejemplo, en el trabajo de L. Mameli (Mameli 2004) se realiza un estudio exhaustivo del recurso avifaunístico en diferentes yacimientos yámanas (todos en la costa norte del canal Beagel). Mediante la descripción de dichos restos, se deduce que estas evidencias arqueo-gráficas son el resultado de diferentes acciones, vinculadas a la producción y consumo de alimentos. Ahora bien, probablemente, la última acción realizada sobre estos restos sería su gestión como residuos, ya que no ofrecen más posibilidades de uso, lo que conlleva que su localización espacial se deba a la acción de gestionar espacialmente dichos residuos. De este modo, se sustituye categoría nominal *ave* por acción: gestión del residuo.

La selección de los *episodios* de ocupación *A* y *F*, se debe a las particularidades intrínsecas existentes en estos dos niveles. El *episodio A* responde a la primera ocupación, es decir, asienta sobre el nivel geológico de la paleo-playa, mientras que el *episodio F* responde a la sexta ocupación de esa misma área.

Es evidente, que las condiciones microtopográficas han variado notablemente entre ambas ocupaciones, pasar de un emplazamiento *prístino* que reúne determinadas circunstancias para ser ocupado y realizar sobre él determinadas acciones, difiere mucho de las condiciones microtopográficas, que puedan existir en la quinta re-ocupación del *lugar*, debido a la intensidad de los procesos de acumulación y deformación (Barceló, Maximiano, Vicente 2004) que sin duda, han producido una configuración espacial diferente, que seguro, influye a la hora de localizar acciones.

Por tanto, se establecen las siguientes hipótesis de trabajo:

- La gestión de los residuos genera un patrón espacial con tendencia a la agregación y autocorrelacionado.
- La dinámica espacial de la gestión del residuo atraerá a la acción (gestión del residuo) hacia una serie de localizaciones y la repulsión de la misma sobre otro conjunto de localizaciones.

Sin duda, el análisis riguroso de la variabilidad espacial del yacimiento Tunel VII implicaría a todas las categorías y a todos los niveles. De este modo, sí se podrían resolver cuestiones más complejas, que las expuestas en el presente caso ilustrativo.

5.2.1. CATEGORÍA AVE

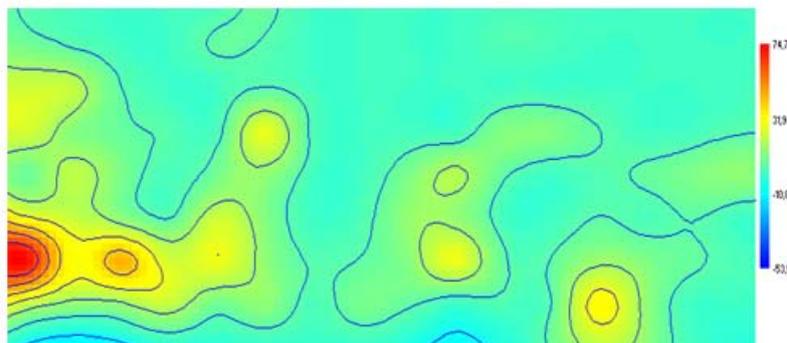
5.2.1.A. Episodio A

Formato original de los datos: Frecuencia (retícula 0,5x0,5)

N= 948

Los datos originales provienen de *campo escalar*, por tanto, prevalece el criterio visual que proporciona la frecuencia espacial. En primer lugar, se muestra una aproximación de cómo se podría configurar la distribución espacial de la población estudiada.

ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN SOBRE EL CAMPO ESCALAR



8	4	2	0	0	1	6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
7	8	4	0	0	6	4	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0
6	23	21	5	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	24	11	6	4	2	27	3	0	1	0	11	11	5	0	1	4
4	7	21	10	2	8	14	1	0	9	19	6	0	3	6	10	13
3	29	21	12	4	22	11	0	2	13	13	1	0	5	2	5	0
2	74	31	46	23	28	13	4	5	11	28	6	5	14	10	6	2
1	23	14	15	22	8	13	2	9	6	0	3	4	33	13	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Figura 78: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

El cálculo de los siguientes parámetros permite estimar el punto central de la distribución. Se trata de una *media ponderada*, según las coordenadas de las cuadrículas (centroides) y la frecuencia de restos contenidas en cada una de ellas.

Además del cálculo de la media, se incluye el valor de la desviación estándar para cada uno de los ejes. Con ello, se pretende visualizar la desviación que representan los datos respecto de la media de dicha distribución (se recuerda que si el valor de la desviación es grande, indica que los puntos están lejos de la media; mientras que una desviación pequeña, indica que los datos están agrupados cerca de la media).

	X	Y	Símbolo
Media	5,84	3,06	★
Desviación Estándar	4,55	1,73	★

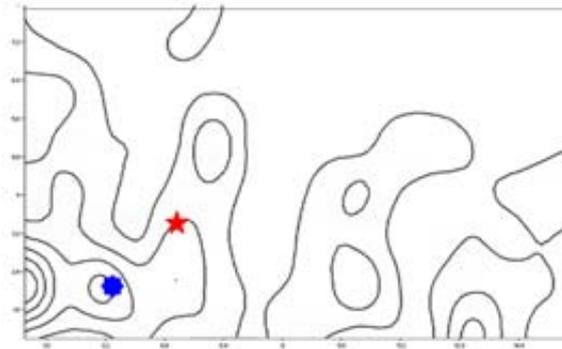


Figura 79: Isolíneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Desviación Estándar Distancia (d) 4,87 m

MEDIDAS DE REGULARIDAD.

El cálculo de la regularidad se realiza sobre los valores que toma la variable en cada una de las retículas (un total de 128), sin plantear cuestiones de localización. Con esto,

se pretende conocer cómo se reparten los casos (n=948) en la superficie muestral pixelada (0,5x0,5).

Densidad Media 9,02 puntos/m²

Según el número de casos y las retículas existentes, se espera una densidad media por pixel de unos 2,25 *restos de ave* para que la población se considerara normal.

	Ave
Mínimo	0
Máximo	74
Moda	0
Media	7,40
Desviación	10,69
Varianza	114,33
Asimetría	2,74
Curtosis	11,32
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0

Tabla 9: Descriptores de la regularidad espacial.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no está normalizada (el test de normalidad S.–W. es inferior a 0,05). Esta serie cuenta con un valor *modal* (0) y de *media* (7,40). Las medidas de dispersión (desviación, varianza y amplitud) son considerablemente elevadas. Las medidas de distribución muestran un valor de asimetría bajo y una curtosis con un valor que muestra una tendencia al apuntamiento, lo que se interpreta como una tendencia de la distribución a encontrarse concentrada a la media.

Estas medidas unidimensionales no se refieren a la localización espacial de las cuadrículas (la variable de estudio no es una *variable regionalizada*, no depende del espacio). A través esta descripción sólo se analiza cómo se encuentran configurados los valores de la serie (948 restos óseos de ave) en las 128 cuadrículas del área muestral:

- Para el caso de la *moda*, las retículas se organizan en valores
 - Por debajo: 0
 - Con el mismo valor: 41 (representa al 32% de la población)
 - Por encima: 87 (el 68%)
- Para el caso de la *media* las retículas se organizan en valores:
 - Por debajo: 86 (representa al 66,4% del total de los valores)
 - Con el mismo valor: 1 (representa el 0,8%)
 - Por encima: 41 (el 33,8%)

ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN: *ESTRUCTURA Y CORRELACIÓN ESPACIAL.*

Se realiza un análisis de la correlación espacial de la distribución, ya que los datos originales son frecuencias espaciales. La cuestión que se pretende resolver en este bloque es: **si determinado valor en determinado lugar depende del valor que la variable tenga en otra localización.**

En el análisis de las frecuencias espaciales representado por un *campo escalar* de intensidades, el análisis de la *agregación/dispersión* de la población se compara con el supuesto de aleatoriedad espacial. Para ello, se emplean los estadísticos de Moran (*I*) y Geary (*C*) que junto a la información que aporta el correlograma de Moran y el análisis de la semivarianza, que permitirán establecer el *tipo*, la *intensidad* y el *rango* del patrón espacial observado.

En los cálculos de los índices de Moran y Geary, se ha empleado el criterio de adyacencia *Queen's*:

	INDICE (n = 100)	P(alea)
Moran's I	0,41	0
Geary's C	0,49	1

Los valores obtenidos en el test indican que la distribución espacial no es aleatoria y que existe una tendencia a la autocorrelación positiva, es decir, existe disposición hacia la agregación espacial.

A través del software CrimestatIII se puede visualizar el correlograma de la función de Moran para diferentes intervalos de distancia:

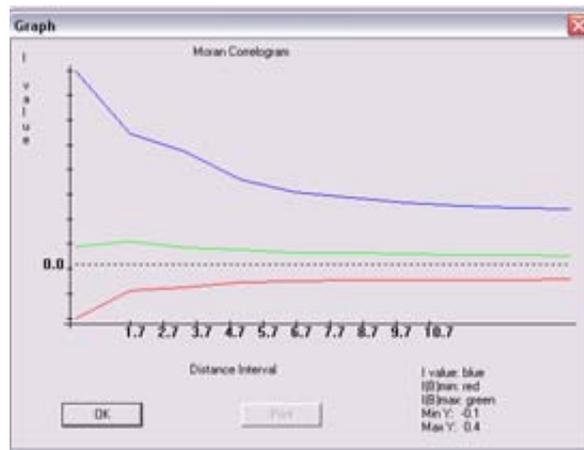


Figura 80: Imagen del Correlograma de la distribución.

El resultado obtenido muestra que la distribución observada se aleja del comportamiento espacialmente aleatorio y tiende a la agregación espacial. Destacan los saltos producidos en la función en los intervalos de distancia 1,7 y 4,7., quizás, pueda indicar partición espacial sobre la distribución global.

El análisis de la semivarianza va más allá de una estimación de la correlación espacial, ya que mediante la determinación de la relación de una *variable regional* medida en una serie de puntos, se puede conocer/predecir los valores de esa misma variable medida en puntos situados a distancias conocidas, pero que no han sido muestreados. En este caso, se cuenta con el 100% del área muestreada, de lo que se obtendrá unos resultados sobre la variabilidad espacial meramente descriptivos (y no predictivos). La relación entre *media* (7,4) y *varianza* (114) indica que la dispersión espacial de la población es elevada. Si los datos de frecuencia de la población son ubicados en sus posiciones espaciales, se podrá percibir las relaciones espaciales que existen entre las retículas vecinas. La función semivariograma muestra los siguientes resultados:

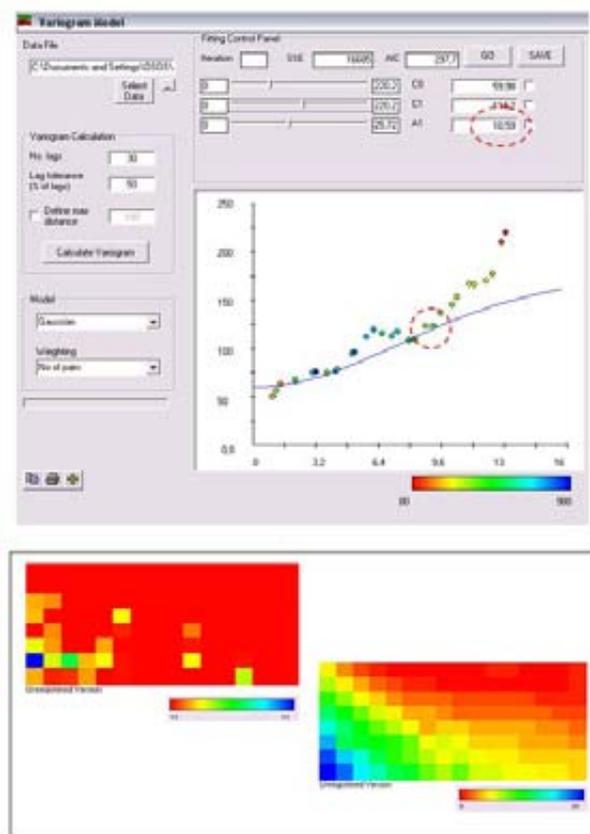


Figura 81: Imagen compuesta por el semivariograma. Se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial. A la izquierda, con tamaño de retícula (0.5x0.5) y a la derecha (1x1).

El semivariograma indica que:

- i. La función espacial, línea azul del semivariograma, es creciente a la asíntota. La explicación más probable se basa en que la elevada concentración de restos en la sub-área S.-W., sigue un proceso brusco de truncamiento: sin mostrar ningún tipo de gradación hacia el W., lo que puede influir en la tendencia asíntótica.
- ii. El modelo teórico, función de color azul, adopta la forma prototípica de una dinámica espacial opuesta a la aleatoriedad. En este caso, se ha considerado como el mejor ajuste a la nube de puntos, el modelo espacial *gausiano*.
- iii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población, indica que la población tiende a una distribución equilibrada, es decir,

sólo tiende al equilibrio, ya que el modelo espacial crece con la asíntota y eso ya indicando la limitación existente a la hora de definir las condiciones de equilibrio en la variación espacial (la serie podría encontrarse cortada).

- iv. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor (muestra la *distancia* a partir de la cual la autocorrelación sería nula), se sitúa en torno a 10,60 m.
- v. El *efecto pepita* no es muy grande: un valor en torno a 60 sobre una oscilación de 250. Equivale aproximadamente a 1/5 del total de la varianza, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativo, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

El análisis de *segundo orden* arroja unos resultados congruentes y significativos, ya que tanto los índices estadísticos, como los test gráficos muestran el comportamiento espacial de la distribución: autocorrelación y tendencia a la agregación espacial. Mediante los resultados obtenidos, se puede responder a la cuestión planteada al principio de este bloque analítico: *¿Existe relación entre valores de la variable en diferentes localizaciones?* La respuesta es positiva, la población *restos de ave* demuestra una relación espacial entre valor y localización.

INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y TASA DE CAMBIO.

En este bloque se analiza la tendencia espacial de la distribución sobre un modelo visual y cuantitativo donde se “mapea” la probabilidad espacial de la localización de la acción causal (social y/o bio-geológica), según cada una de las localizaciones existentes en el área muestral (mapa probabilístico de la distribución del proceso espacial).

Debido al tipo de categoría usada para el análisis de la variabilidad espacial, se parte del supuesto por el cual el tipo de acción social que se puede asociar a dicha categoría se encuentra relacionada con la gestión de residuos/desechos, es decir, los restos materiales identificados y localizados son el resultado final de una serie de acciones vinculadas con la gestión espacial de los desechos producidos y espacialmente distribuidos por un conjunto extenso de acciones.

En este caso concreto, según el nivel de diferenciación analítica de la materialidad, se plantea un argumento causal sobre la distribución observada, donde la gestión en el *espacio físico* del residuo generado por determinadas acciones, es el marco explicativo de la dinámica espacial para la categoría nominal *ave*.

Como quedó claro en otras partes de esta tesis, (cap 2 y cap 3) las acciones suelen estar dirigidas y muestran un comportamiento recurrente en tanto a la localización espacial donde fueron realizadas.

Así que, la determinación de la agregación/dispersión y la medida de la autocorrelación espacial son indicadores adecuados para caracterizar el patrón espacial, que causó la distribución.

La superficie polinómica de la distribución permite visualizar cómo es la frecuencia de la distribución sobre un número determinado de localizaciones, lo que permite determinar aspectos sobre la relación espacial que pueda existir en las retículas adyacentes. Esto conduce a la percepción y cuantificación de la deformación espacial de un área, que se encuentre bajo la influencia de determinados procesos espaciales.

La distribución genera la siguiente superficie polinómica:

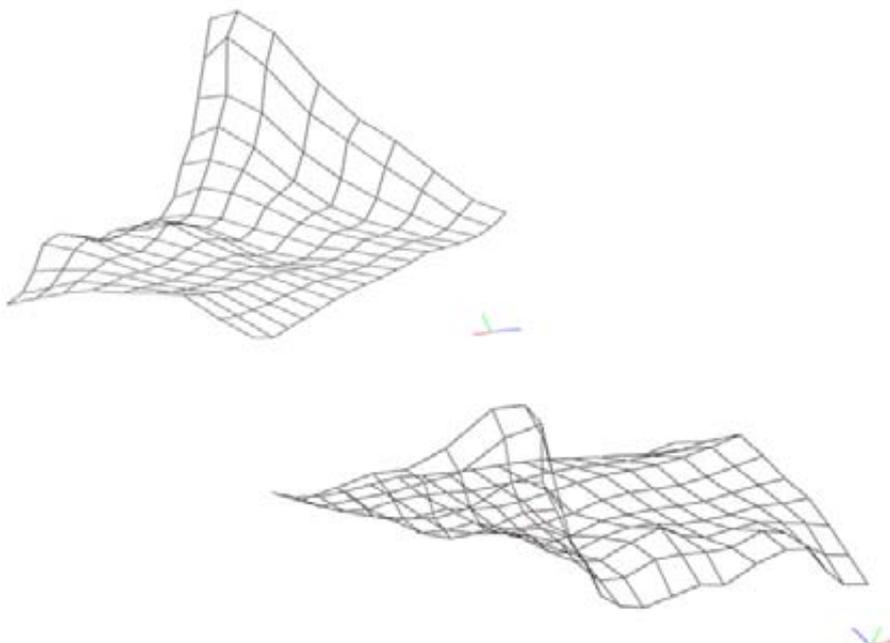


Figura 82: Superficies polinómicas de orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde N.-E., en frente queda la zona de mayor valor de frecuencia. Inferior derecha imagen tomada desde S.-W., se ve a través de la zona de mayor valor de frecuencias.

Al añadir una trama de color, la superficie muestra las zonas de mayor intensidad en tonos cálidos, mientras que las zonas de menor densidad tienden a tonos fríos. (La orientación de la imagen es S.-E.).

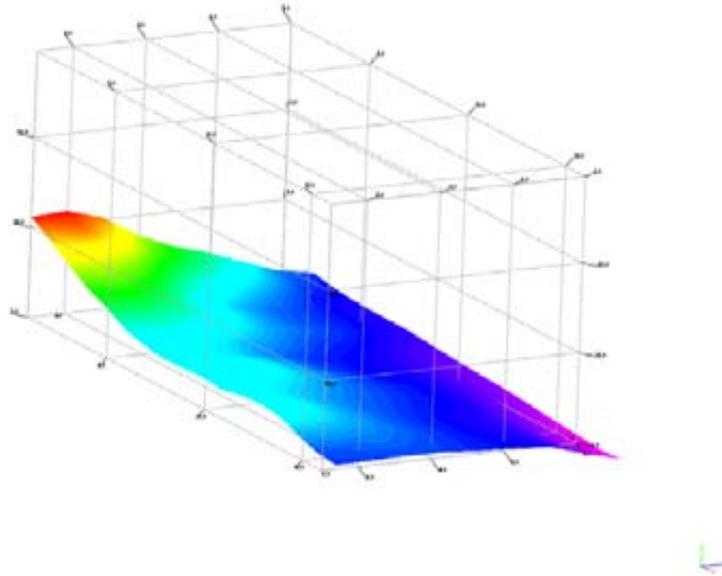


Figura 83: Superficie polinómica con trama de color.

La ecuación, que caracteriza esta superficie, es:

$$f(x) = a + bx - c(x-n)^2 + d(x-n)^3 + e(x-n)^4$$

(No se conocen los valores de a, b, c, n ya que es necesario tener los datos coordinados para poder calcular los valores exactos de la función: Se ha desechado el cálculo aproximado ya que distorsionaría demasiado los parámetros de la función)

Según la imagen y su función, existe una sub-área con valores de frecuencias bastante elevados, los cuales se encuentran rodeados de localizaciones vecinas que muestran una degradación paulatina⁵⁰ en los valores de frecuencia por unidad muestral. Con esta información, se puede esbozar las principales trazas del comportamiento espacial que probablemente causó la distribución y que se caracteriza por:

- Autocorrelación positiva.

⁵⁰ Los valores de densidad espacial disminuyen gradualmente a medida que se aleja del punto central de la concentración

- Con tendencia a la agregación espacial en una determinada región del área muestral.

Tras describir las características y las implicaciones de la superficie interpolada, el siguiente paso sería la obtención de la tasa de cambio espacial producida en dicha superficie.

De acuerdo con los argumentos teóricos de esta tesis (capítulos 2 y 3), si la acción fue espacialmente intencional tenderá a una serie de localizaciones preferidas. Teóricamente, en aquellas localizaciones de la superficie interpolada que muestren una mayor semejanza en sus valores (ya sean altos, ya sean bajos), se corresponderá con el/los emplazamiento/s - más probables- donde tuvo lugar esa acción o conjunto específico de acciones. Esto supone que la superficie interpolada sólo muestra la deformación espacial en un área sometida a determinados procesos espaciales y no puede estimar el grado de continuidad espacial que existe en las regiones con frecuencias más o menos semejantes.

La solución a este problema se encuentra en el cálculo del gradiente, por el cual se mide la tasa de cambio espacial (cap.1 y cap.3) o lo que es lo mismo, se estudia la continuidad entre valores vecinos en tanto a sus semejanzas (bajas tasas de cambio espacial) como a sus diferencias (altas tasas de cambio espacial).

A continuación, se visualiza el gradiente espacial de la distribución de los *restos de ave* en los que se representa una superficie deformada (diferente a la polinómica) por los diferentes valores tomados por la tasa de cambio espacial.

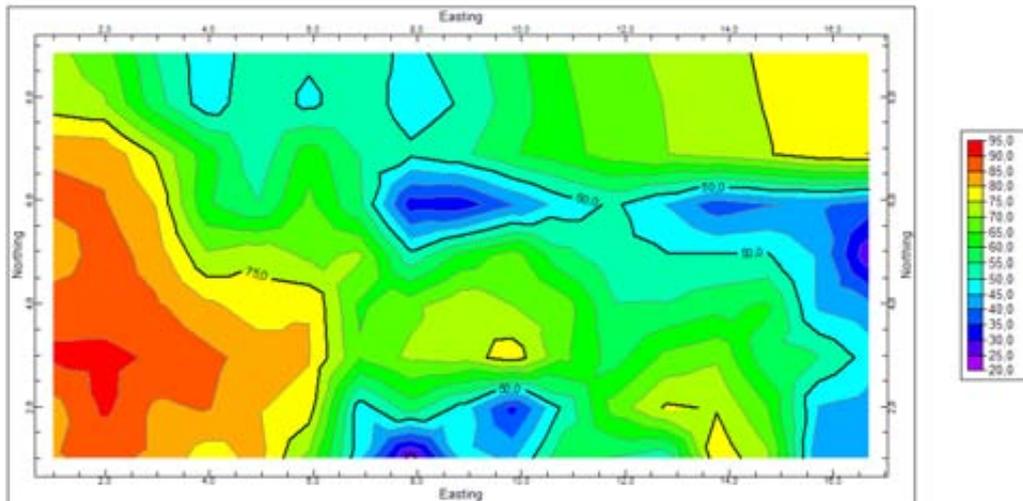


Figura 84: Gradiente 2D de la distribución.

La imagen permite ver localizaciones donde el cambio es muy acusado (en tonos cálidos) y otras, donde es relativamente bajo. Se tiene en cuenta que en la escala, la tasa de cambio empieza con un valor significativamente elevado (en torno al 20%). A través de la ubicación de las isolíneas de 50 y 75% de cambio, se puede diferenciar regiones de cambio significativo y regiones de cambio extremo.

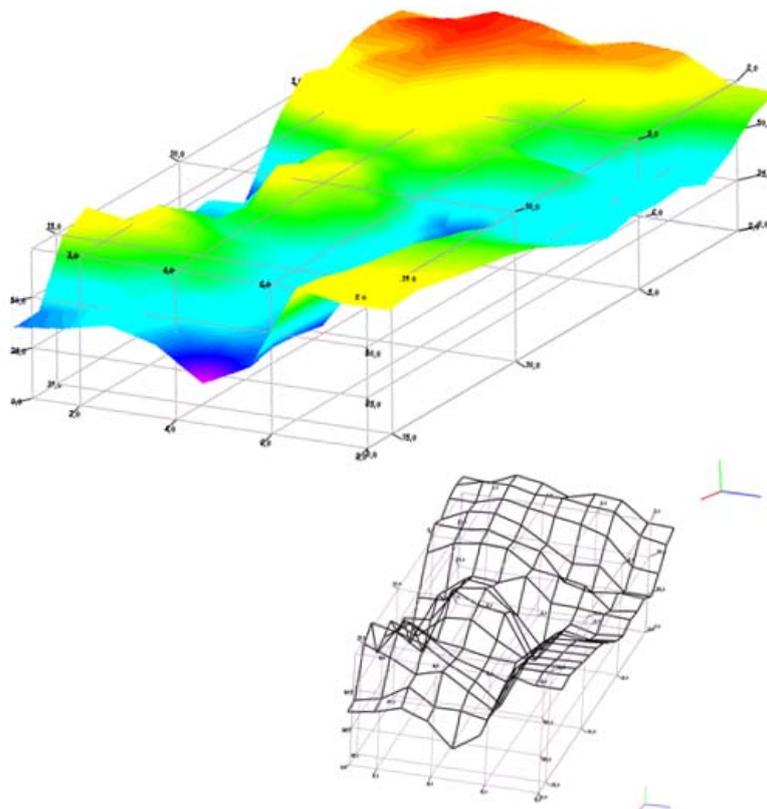


Figura 85: Gradiente 3D de la distribución. La orientación es N.-E. se incluye misma imagen pero sin trama de color para hacer hincapié en las dos zonas estables y contrapuestas.

La interpretación de la imagen anterior muestra una irregularidad significativa en la tasa de cambio espacial. En este caso el gradiente se asocia a la superficie polinómica en tanto a que en la zona de mayor intensidad espacial, se localiza la mayor tasa de cambio espacial. La observación anterior es muy importante, ya que muestra la tendencia a que en las zonas donde los valores de frecuencia son bajos, la tasa de cambio suele ser moderada, incluso se da la circunstancia (en unos emplazamientos concretos) donde la tasa de cambio es mínima. Frente a esto, en las zonas de valores de frecuencia elevada, existe una tasa de cambio brusca.

Este comportamiento espacial podría estar indicando que la direccionalidad en la acción causal de la distribución es difusa, debido a la inestabilidad (elevada tasa de cambio espacial) percibida en las zonas donde los valores de frecuencias son altos. Al existir vecinos con valores disímiles, no se estaría afianzando la recurrencia de la acción sobre esas localizaciones.

Finalmente, los resultados obtenidos sobre la categoría nominal *restos de ave* (episodio A), se evalúan de manera favorable, ya que:

- i. Ante una categoría estrictamente nominal, como es *restos de ave*, sin relevancia social y con poca consideración arqueo-lógica (pero sí arqueo-gráfica), se registra un comportamiento con tendencia a la intencionalidad en la localización de los restos (resultados de determinadas acciones sociales), en otras palabras, la población no se distribuye de manera aleatoria en el espacio y esto permite plantear algunas hipótesis acerca de las causas de la distribución observada.
- ii. Existe una predisposición en el emplazamiento de los efectos materiales, lo que probablemente permitirá establecer (de manera cuantitativa) una aproximación a la localización de la acción causal.

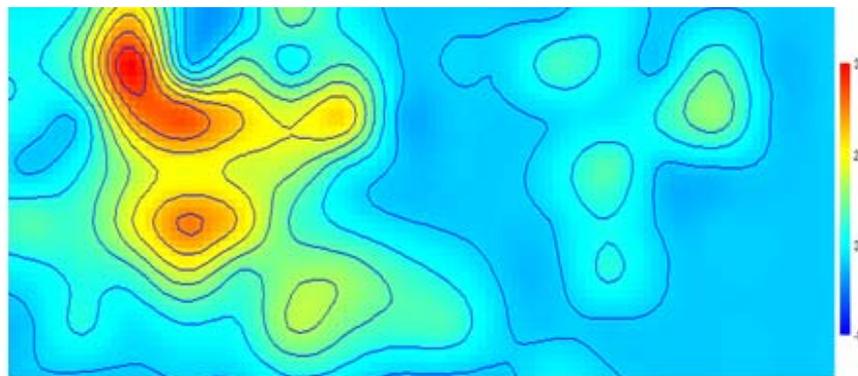
5.2.1. B. **Episodio F**

Formato original de los datos: Frecuencia (retícula 0,5x0,5)

N= 673

ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN SOBRE EL CAMPO ESCALAR

Imagen de la población representada desde *campo escalar*.



8	3	7	23	0	0	12	4	0	0	0	0	4	0	1	0	0
7	5	13	37	2	12	3	10	1	1	1	8	4	0	9	0	0
6	4	2	27	32	24	18	23	0	0	0	1	2	6	13	1	0
5	0	5	15	19	17	15	5	0	0	0	3	9	0	0	0	0
4	9	8	19	29	23	9	4	1	0	0	1	5	0	0	0	0
3	3	6	8	18	9	13	13	8	4	0	0	6	1	0	0	0
2	0	6	2	5	5	15	11	8	8	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	5	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Figura 86: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

	X	Y	Símbolo
Media	5,49	5	★
Desviación Estándar	3,12	1,85	⊙

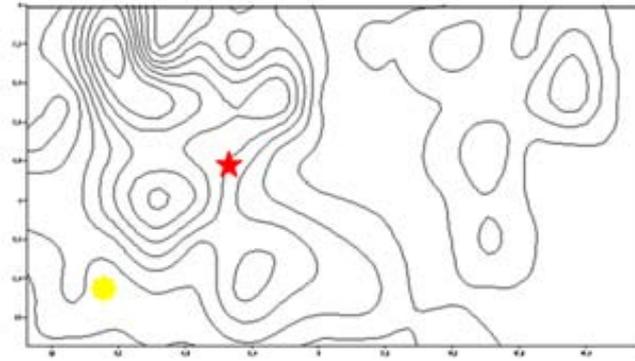


Figura 87: Isolneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Desviación Estándar Distancia (*d*) 4,64 m

MEDIDAS DE REGULARIDAD

Densidad Media 6,40 puntos/m²

Según el número de casos y las retículas existentes, se espera una densidad media por pixel de 1,6 *restos de ave* para que la población fuera normal.

	Ave
Mínimo	0
Máximo	37
Moda	0
Media	5,25
Desviación	7,65
Varianza	58,6
Asimetría	1,84
Kurtosis	3,19
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0,00

Tabla 10: Descriptores de la regularidad espacial.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no aparece normalizada (el test de normalidad S.-W. es inferior a 0,05). Esta serie cuenta con un valor *modal* (0) y

de *media* (5,25). Las medidas de dispersión (desviación, varianza y amplitud) no son elevadas. Las medidas de distribución muestran un valor de asimetría bastante bajo y una curtosis con un valor poco apuntado. Los resultados muestran una tendencia a la concentración en torno a la media.

Estos cálculos no tienen significado espacial, tan sólo muestran cómo se distribuye la frecuencia de la población en torno a las 128 casillas:

- Para el caso de la *moda*, las retículas se organizan en valores
 - Por debajo: 0
 - Con el mismo valor: 52 (equivalente al 40% de la población)
 - Por encima: 76 (equivalente al 60% de la población)

- Para el caso de la *media* las retículas se organizan en valores:
 - Por debajo: 81 (equivalente al 71 % de la población)
 - Con el mismo valor: 7 (5,5% de la población)
 - Por encima: 40 (27% de la población)

ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN: *ESTRUCTURA Y CORRELACIÓN ESPACIAL*.

Se realiza un análisis de la correlación espacial de la distribución, ya que los datos originales son de *campo escalar*. En los cálculos de los índices de Moran (*I*) y Geary (*C*), se ha empleado el criterio de adyacencia *Queen's*:

	INDICE (n = 100)	P(alea)
Moran's I	0,55	0
Geary's C	0,52	1

Los valores obtenidos en el test indican que la distribución espacial no es aleatoria y que existe una tendencia a la autocorrelación positiva, es decir, existe disposición hacia

la agregación espacial. El correlograma de Moran ratifica el resultado de los estadísticos, mostrando una clara tendencia a la agregación espacial:

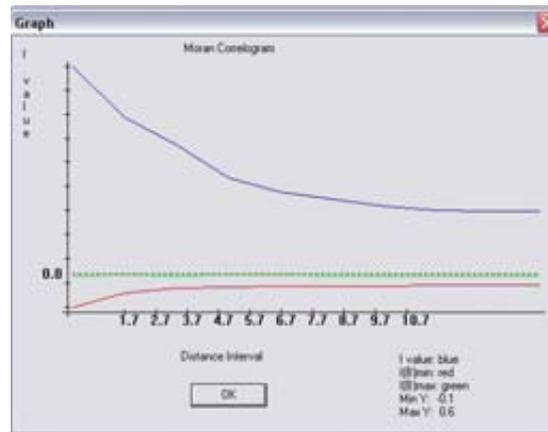


Figura 88: Imagen del Correlograma.

El análisis de la semivarianza cuenta con el 100% del área muestreada. La relación entre *media* y *varianza* indica que la dispersión espacial de la población no es muy elevada. La función semivariograma muestra los siguientes resultados:

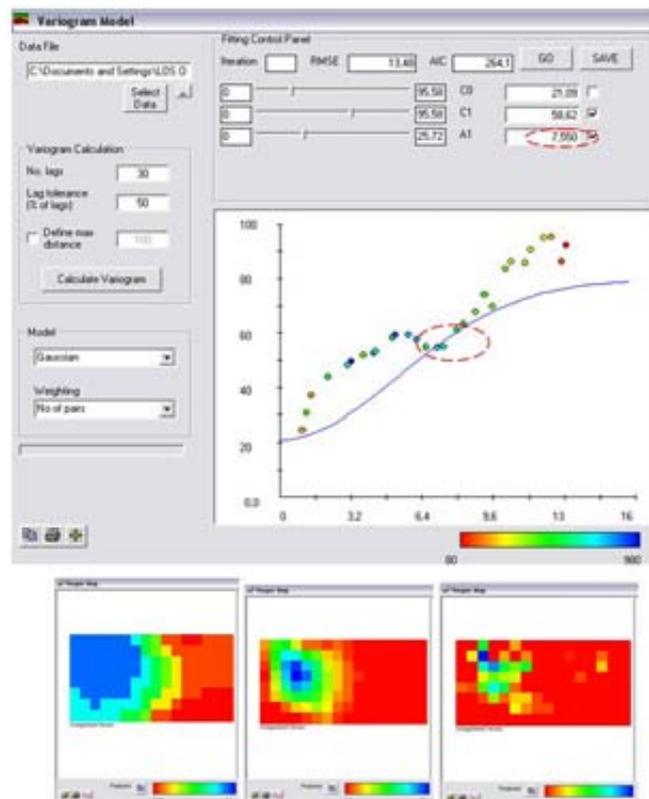


Figura 89: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial: a la izquierda con tamaño de retícula (10x10), en el centro (1x1), a la derecha (0.5x0.5).

Los resultados del semivariograma indican:

- i. El modelo teórico, función de color azul, adopta la forma prototípica de una dinámica espacial opuesta a la aleatoriedad. En este caso, se ha considerado como el mejor ajuste a la nube de puntos, el modelo espacial *gausiano*.
- ii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población, indica que la distribución es equilibrada.
- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor (muestra la *distancia* a partir de la cual la autocorrelación sería nula), se sitúa en torno a 7,5 m.
- iv. El *efecto pepita* no es muy grande: un valor en torno a 20 sobre una oscilación de 100, equivale aproximadamente a 1/5 del total de la varianza, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativa, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

El análisis de *segundo orden* arroja unos resultados congruentes y significativos, ya que tanto los índices estadísticos como los test gráficos muestran el comportamiento espacial de la distribución: autocorrelación y tendencia a la agregación espacial. La población estudiada demuestra una relación espacial entre valor y localización.

INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y TASA DE CAMBIO.

En este bloque se analiza la tendencia espacial de la distribución según cada una de las localizaciones existentes en el área muestral (mapa probabilístico de la distribución del proceso espacial) La distribución de los *restos de ave*, genera la siguiente superficie polinómica:

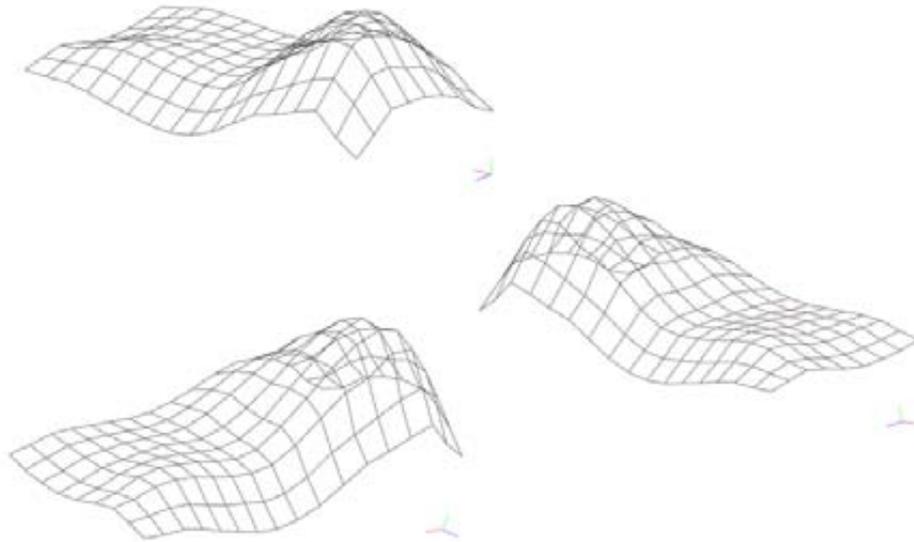


Figura 90: Superficies polinómicas de Orden 4. Imagen Superior izquierda tomada desde N.-W.
 Intermedia tomada desde S.-E. Inferior derecha tomada desde N.-E.

Al añadir una trama de color, la superficie muestra las zonas de mayor intensidad en tonos cálidos, mientras que las zonas de menor densidad tienden a tonos fríos. (La orientación de la imagen es S.-E.).

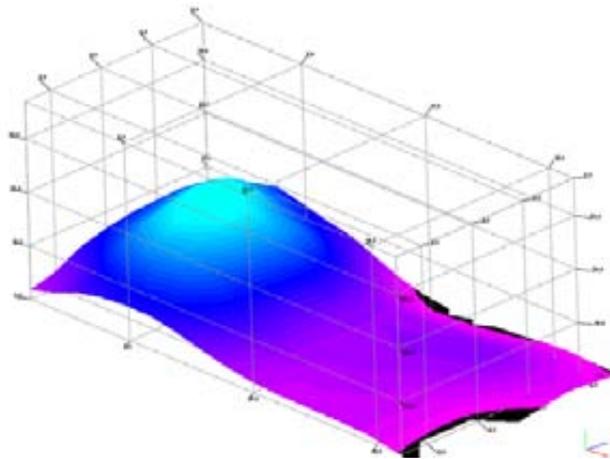


Figura 91: Superficie polinómica de la población *ave* con trama de color.

La fórmula, que caracteriza a esta superficie, es:

$$f(x) = a + bx - c(x-n)^2 + d(x-n)^3 + e(x-n)^4$$

(No se conocen los valores de a , b , c , n ya que es necesario tener los datos coordinados para poder calcular los valores exactos de la función: Se ha desechado el cálculo aproximado ya que distorsionaría demasiado los parámetros de la función)

Según la imagen y la función, existe una sub-área con valores de frecuencias relativamente elevados, los cuales se encuentran rodeados de localizaciones vecinas que muestran una degradación paulatina⁵¹ en la intensidad. Las principales trazas del comportamiento espacial que probablemente causó la distribución, se encuentran caracterizados por:

- Autocorrelación positiva.
- Con tendencia a la agregación espacial en una determinada región del área muestral.

Tras describir las características y las implicaciones de la superficie interpolada, el siguiente paso es la obtención de la tasa de cambio espacial producida en dicha superficie: el gradiente espacial.

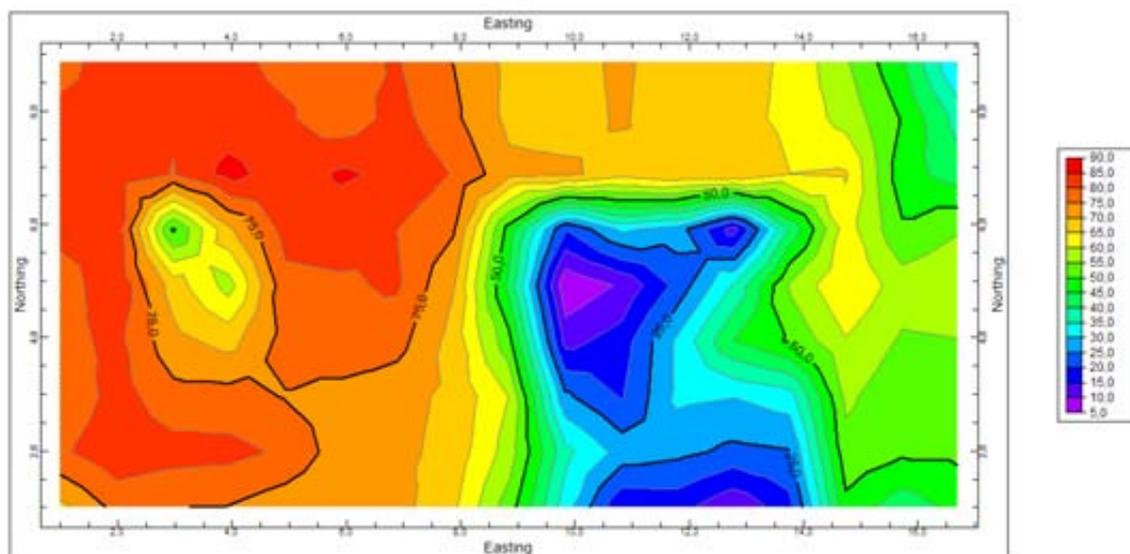


Figura 92: Gradiente de la población *ave* episodio F en 2D .

⁵¹ Los valores de densidad espacial disminuyen gradualmente a medida que se aleja del punto central de la concentración

La imagen muestra la baja tasa de cambio (la escala empieza a partir del 5% considerando entre 25-30% como tasa de cambio moderadamente baja), localizada en un área concreta.

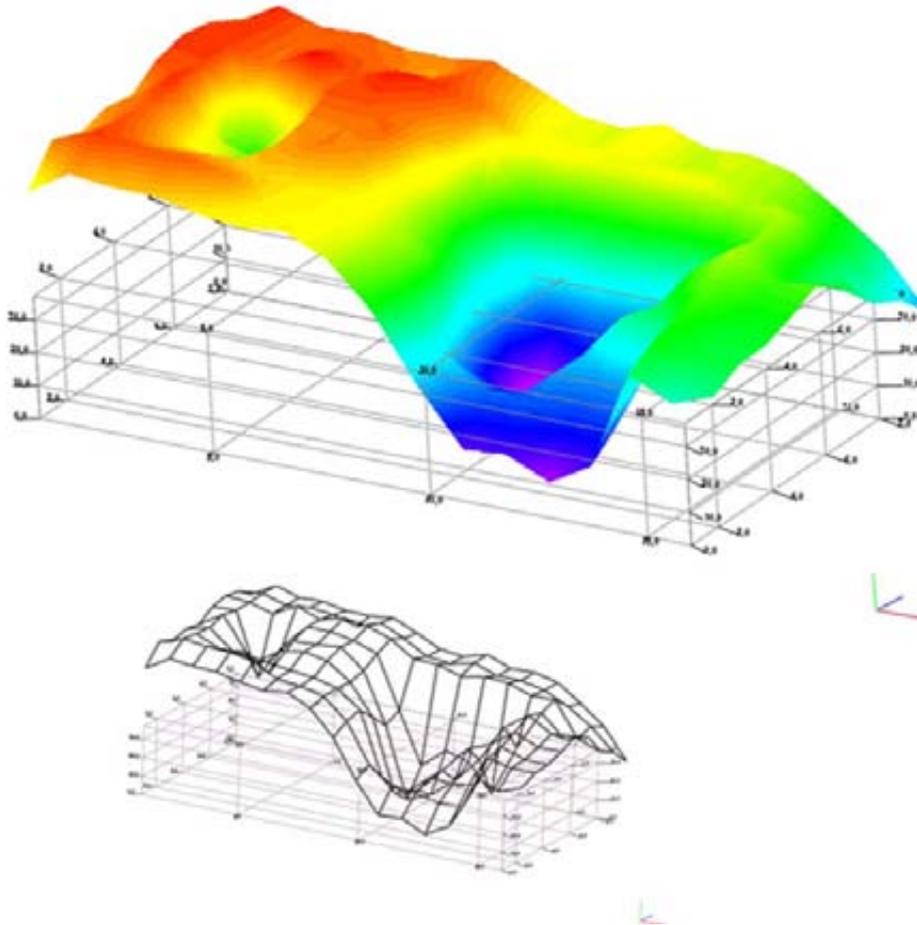


Figura 93: Gradiente en 3D de la distribución. La orientación es S.-E. se incluye misma imagen pero sin trama de color para hacer hincapié en las dos zonas estables y contrapuestas.

La interpretación del gradiente espacial de la distribución analizada es un buen ejemplo de la dinámica espacial *atracción/repulsión*. La combinación entre superficie polinómica y gradiente establece la relación por la cual en las zonas de mayor y menor intensidad espacial (valores de frecuencia altos y bajos) la tasa de cambio es muy baja (alta estabilidad espacial).

Se puede afirmar que en la zona de mayor intensidad espacial (frecuencias altas de restos), existe una tasa de cambio baja y a medida que se aleja de su centro, la tasa de cambio se incrementa paulatinamente. Paralelamente, en la zona de menor intensidad

espacial (frecuencias bajas de restos), existe una tasa de cambio mínima y a medida que se aleja de su centro, se incrementa paulatinamente.

Según lo anterior, existen dos sub-áreas que se caracterizan no sólo por su estabilidad en la tasa de cambio (que es significativamente baja), sino que, además, reflejan comportamientos espaciales opuestos:

- Sub-áreas del espacio muestral que tienen una probabilidad mayor para que en ellas se localicen determinada/s acción/es.
- Sub-áreas del espacio muestral donde la probabilidad de la repulsión en la localización de acciones es elevada.

Para concluir, la ausencia de restos sobre un área específica actúa a modo de un *repulsor espacial* en tanto a la localización de determinadas acciones (asociadas a la categoría nominal *ave*). Esto conduce a una interesante solución: la concentración de restos materiales (en este caso agrupados bajo la categoría nominal *ave*) funciona como un *atractor espacial* sobre determinadas acciones.

Los resultados obtenidos sobre la categoría nominal *restos de ave* (episodio F) se consideran muy positivos, ya que:

- i. Se ha podido cuantificar la intencionalidad en el uso del espacio, en función a la ocupación sistemática de un conjunto de localizaciones y en la no ocupación, igualmente sistemática, de una serie de localizaciones.
- ii. Existe una clara tendencia a la hora de elegir los emplazamientos de los efectos materiales de determinadas acciones sociales, lo que permitirá establecer una hipótesis acerca de la localización de la acción causal mediante la dinámica de *repulsión/atracción* espacial visualizada.

5.2.2. CATEGORÍA LOBO MARINO.

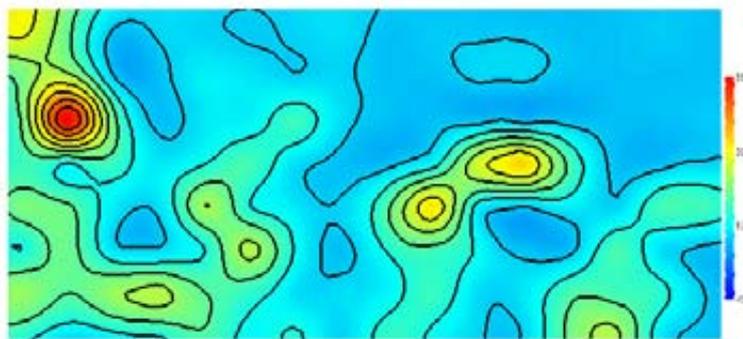
5.2.2. A. Episodio A.

Formato original de los datos: Frecuencia (retícula 0,5x0,5).

N= 954

Imagen de la población generada desde *campo escalar*:

ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN SOBRE EL CAMPO ESCALAR.



8	29	16	0	2	2	1	2	3	0	1	1	1	0	0	1	0
7	17	25	2	0	5	4	2	20	0	2	2	0	0	0	0	0
6	16	56	17	0	4	5	12	3	0	0	0	0	0	0	0	1
5	12	7	12	4	8	13	3	3	3	6	27	35	13	0	0	2
4	18	16	5	3	22	8	4	2	14	33	5	1	5	2	13	12
3	8	17	3	2	8	24	7	0	9	13	7	0	0	13	3	0
2	21	15	21	24	15	11	3	3	5	12	3	4	13	12	10	1
1	11	4	7	9	14	6	9	2	11	7	2	2	17	23	4	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Figura 94: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

	X	Y	Símbolo
Media	6,53	3,94	★
Desviación Estándar	4,63	2,06	●

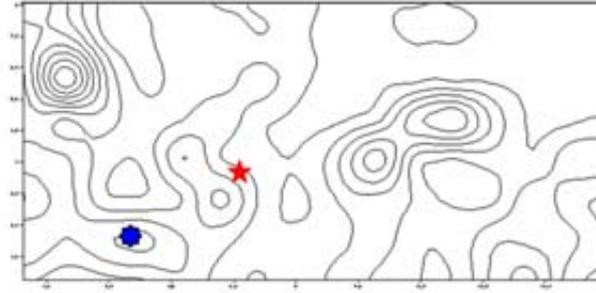


Figura 95: Isolneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Desviación Estándar Distancia (d) 5,07 m

MEDIDAS DE REGULARIDAD.

Densidad Media 9,08 puntos/m²

Según el número de casos y las retículas existentes, se espera una densidad media por pixel de unos 2,27 *restos de lobo marino* para que la población fuera normal.

	Lobo marino
Mínimo	0
Máximo	56
Moda	0
Media	7,43
Desviación	8,97
Varianza	80,62
Asimetría	2,02
Kurtosis	6,05
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0

Tabla 11: Descriptores de la regularidad espacial.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no está normalizada (el test de normalidad S.-W. es inferior a 0,05). Esta serie cuenta con un valor *modal* (0) y de

media (7,43). Las medidas de dispersión (desviación, varianza y amplitud) son considerablemente elevadas (aunque menores que para el caso de la categoría ave). Las medidas de distribución muestran un valor de asimetría bastante bajo y una curtosis con un valor poco apuntado.

Estas medidas se pueden interpretar como una tendencia a la concentración en torno a la media por parte de la distribución.

Esta descripción sólo define cómo se encuentran configurados los valores de la serie (954 restos óseos de lobo marino) sobre las 128 cuadrículas del área muestral, no tiene implicación espacial:

- Para el caso de la *moda*, las retículas se organizan en valores
Por debajo: 0
Con el mismo valor: 29 (equivale al 22% de la población)
Por encima: 99 (el 77,6%)
- Para el caso de la *media* las retículas se organizan en valores:
Por debajo: 76 (equivale al 59,5% de la población)
Con el mismo valor: 5 (3,9%)
Por encima: 47 (el 36,9%)

ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN SOBRE LA *ESTRUCTURA* Y LA *CORRELACIÓN* ESPACIAL.

Para el cálculo de los índices de Moran (*I*) y Geary (*C*), se ha empleado el criterio de adyacencia *Queen's*:

	INDICE (n = 100)	P(alea)
Moran's I	0,26	0
Geary's C	0,77	1

Los valores obtenidos en el test indican que la distribución espacial es no aleatoria y que existe una tendencia a la autocorrelación positiva entre las localizaciones espaciales.

Se puede señalar que los valores de los estadísticos se aproximan un poco a los valores de probabilidad aleatoria. Esto podría mostrar determinados rasgos de debilidad en la agregación espacial. El gráfico del correlograma de Moran indica que la distribución se aleja del comportamiento espacialmente aleatorio y muestra una tendencia a la agregación espacial.

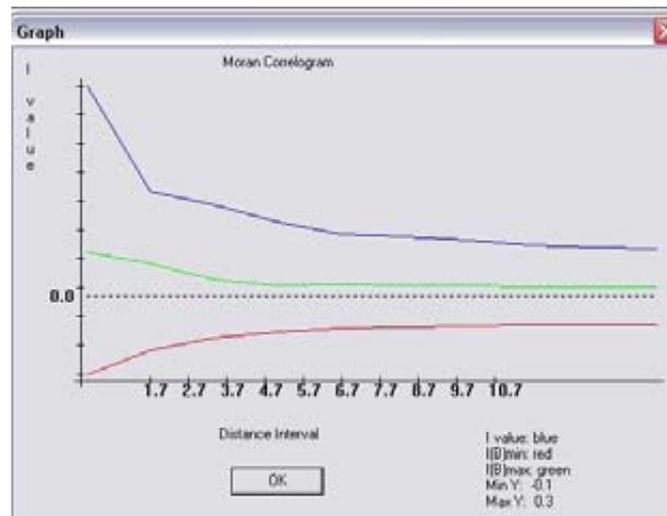


Figura 96: Imagen del Correlograma de la distribución lobo.

El análisis de la semivarianza cuenta con el 100% del área muestreada. La relación entre *media* (7,43) y *varianza* (80,6) indica que la dispersión espacial de la población es elevada, quizás sea producto de la considerable *amplitud* (0-56) en los valores de la distribución.

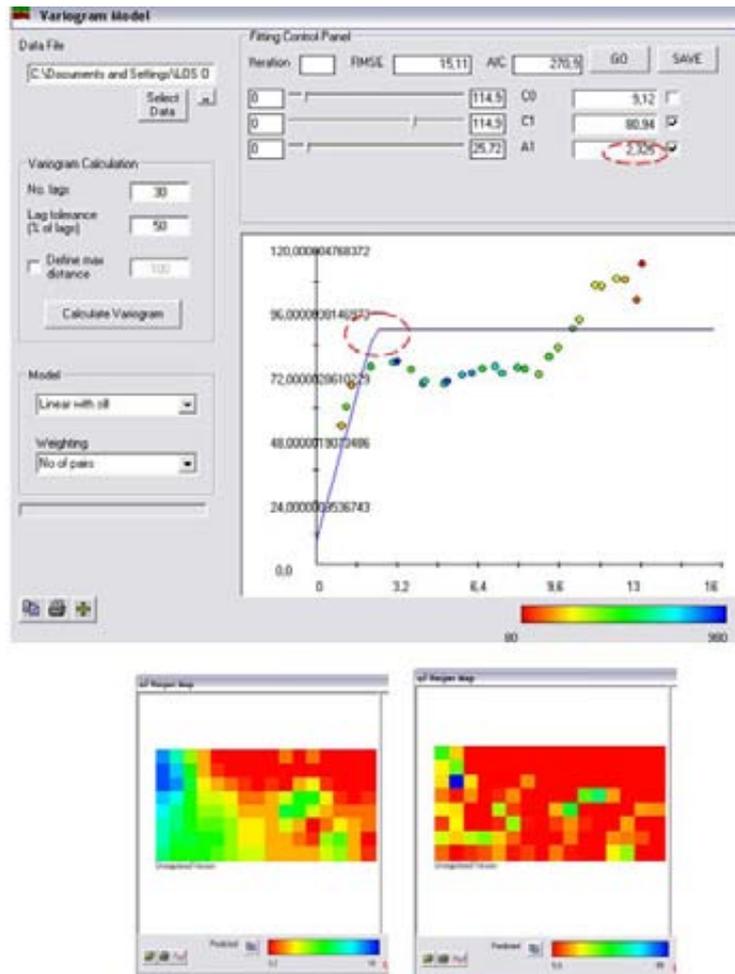


Figura 97: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial: a la izquierda con tamaño de retícula (1x1) y a la derecha (0.5x0.5).

Los resultados del semivariograma muestran:

- i. El modelo teórico, función de color azul, adopta la forma prototípica de un comportamiento espacial opuesto a la aleatoriedad. En este caso, se ha considerado como el mejor ajuste a la nube de puntos, el modelo espacial *lineal con meseta*.
- ii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población, adopta un valor elevado (mas de 85) según la varianza total (120).

- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, (muestra la *distancia* a partir de la cual la autocorrelación sería nula) se sitúa en torno a 2,32 m.
- iv. El *efecto pepita* no es muy grande: un valor en torno a 25 sobre una oscilación de 120, equivale aproximadamente a 1/5 del total de la varianza, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativa, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

El análisis de *segundo orden* resulta congruente y significativo, ya que tanto los índices estadísticos, como los test gráficos muestran el comportamiento espacial de la distribución: autocorrelación y una tendencia moderada a la agregación espacial. De tal modo que la población *restos de lobo marino*, muestra una relación espacial entre valor y localización.

INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y TASA DE CAMBIO.

La distribución se estructura mediante la siguiente superficie polinómica:

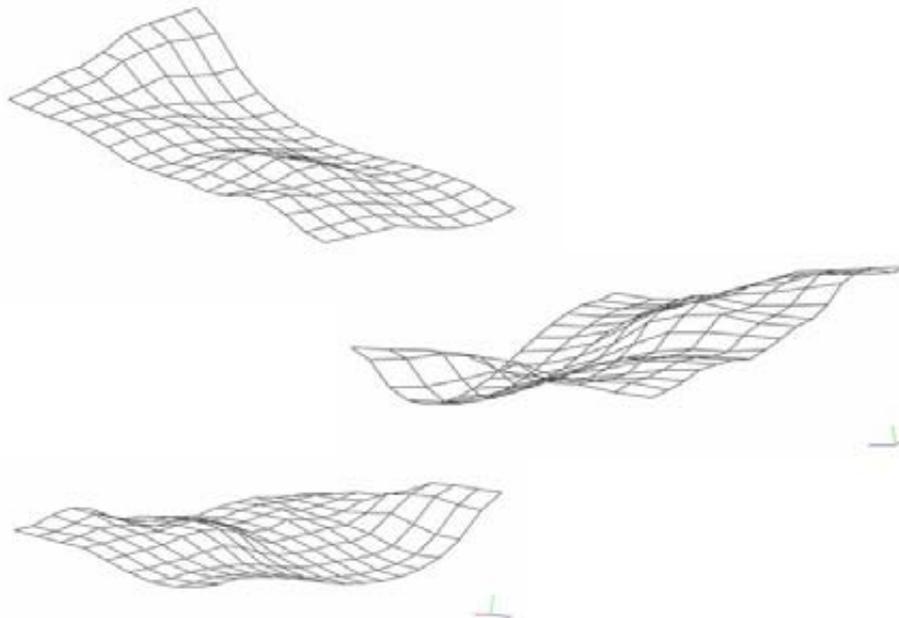


Figura 98: Superficies polinómicas de Orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde N.-E., en frente queda la zona de mayor valor de frecuencia. Inferior derecha imagen tomada desde S.-W., se percibe a través de la zona de mayor valor de frecuencias.

Al añadir una trama de color (La orientación de la imagen es S.-E.):

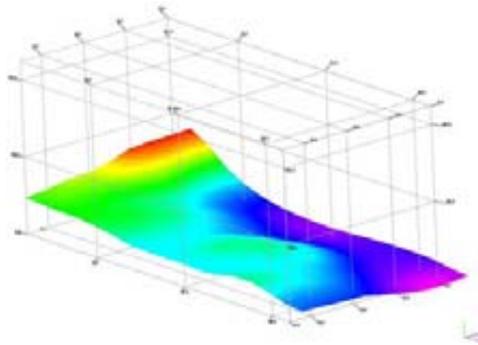


Figura 99: Superficie polinómica con trama de color población *lobo*.

La fórmula, que caracteriza a esta superficie, es:

$$f(x) = a + bx - c(x-n)^2 + d(x-n)^3 + e(x-n)^4$$

(No se conocen los valores de a , b , c , n ya que es necesario tener los datos coordinados para poder calcular los valores exactos de la función: Se ha desechado el cálculo aproximado ya que distorsionaría demasiado los parámetros de la función)

Existe una sub-área con valores de frecuencias bastante elevados, los cuales se encuentran rodeados de localizaciones vecinas que muestran una degradación paulatina⁵² en los valores de frecuencia por unidad muestral.

El comportamiento espacial de la distribución, se define con autocorrelación positiva y con una tendencia a existir varias agregaciones en la misma población.

El gradiente espacial de la distribución *lobo marino* en le episodio A, muestra la siguiente tasa de cambio:

⁵² Los valores de densidad espacial disminuyen gradualmente a medida que se aleja del punto central de la concentración

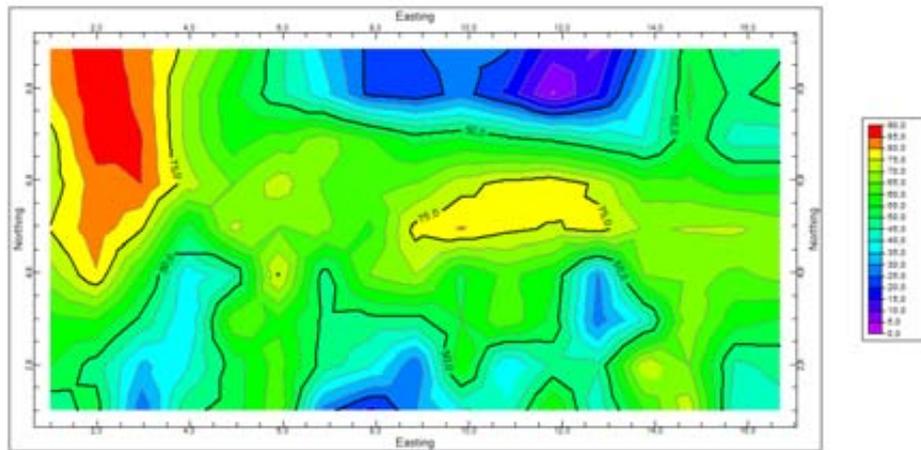


Figura 100: Gradiente de la población en 2D.

La imagen muestra la tasa de cambio de toda el área prospectada (la escala empieza a partir del 0% considerando hasta un 30% como valores de tasa de cambio moderadamente baja).

La imagen del gradiente en 3D muestra las siguientes variaciones:

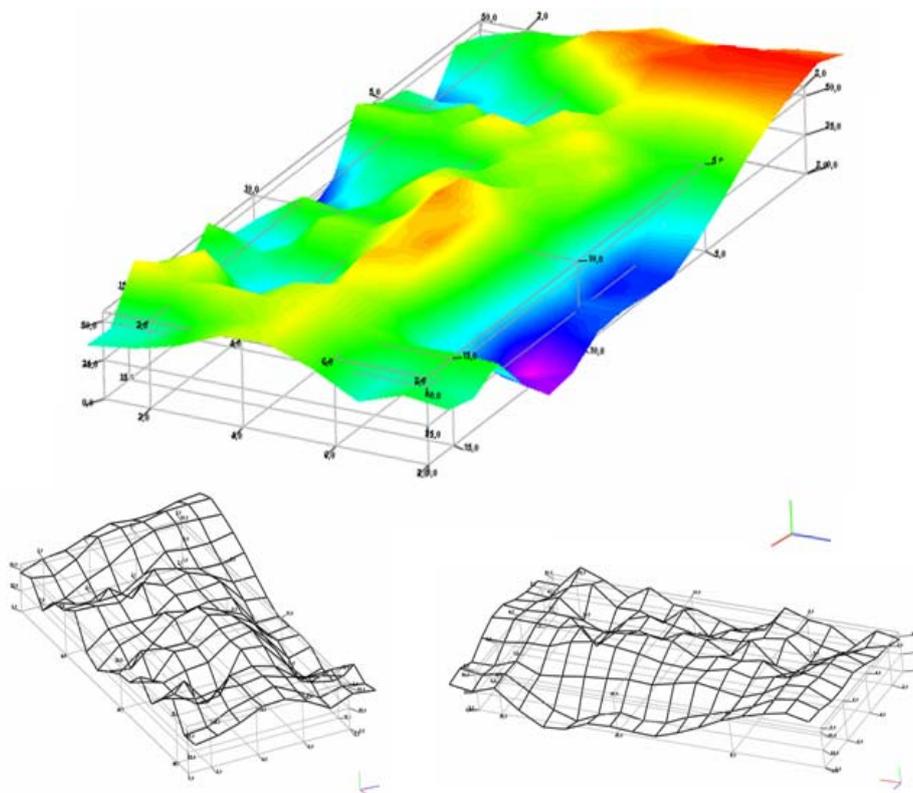


Figura 101: Gradiente 3D de la distribución lobo marino episodio A. La orientación es N.-E. Se incluye misma imagen pero sin trama de color desde S.-E- y N.-W.

La interpretación de la imagen anterior muestra una irregularidad significativa en la tasa de cambio espacial a lo largo de toda el área muestral. La relación entre gradiente y superficie polinómica, permite reconocer:

- Cuando la tasa de cambio es elevada, la localización de la misma se produce tanto en zonas donde los valores de frecuencia son altos, como en zonas donde los valores son moderados. Esto se debe a la presencia de una serie de valores muy divergentes entre sí, pero que espacialmente son vecinos próximos, solo con ver los datos de la tabla de contingencia se puede intuir dicha irregularidad, que el gradiente se encarga de percibir y visualizar de manera acertada.

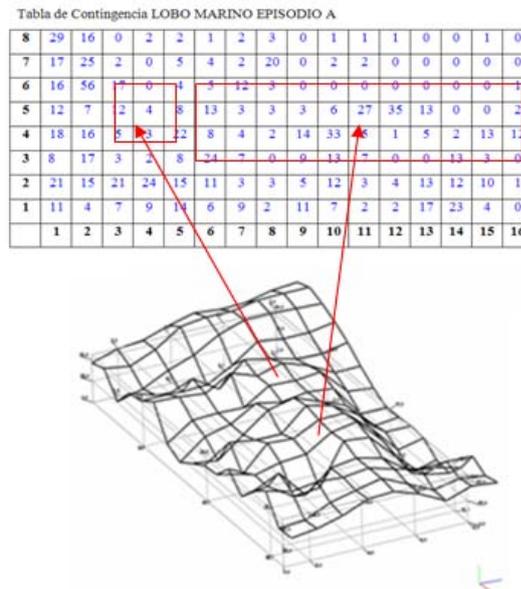


Figura 102: Imagen que representa las zonas de cambio elevado en la tasa espacial para casos de frecuencia relativamente moderadas.

- Cuando la tasa de cambio es baja, o moderadamente baja, la localización de la misma se produce en localizaciones donde los valores de frecuencia son pequeños, incluso, se produce la circunstancia (en unos emplazamientos concretos) donde la tasa de cambio es mínima y el valor de frecuencia oscila de 0 a 3.

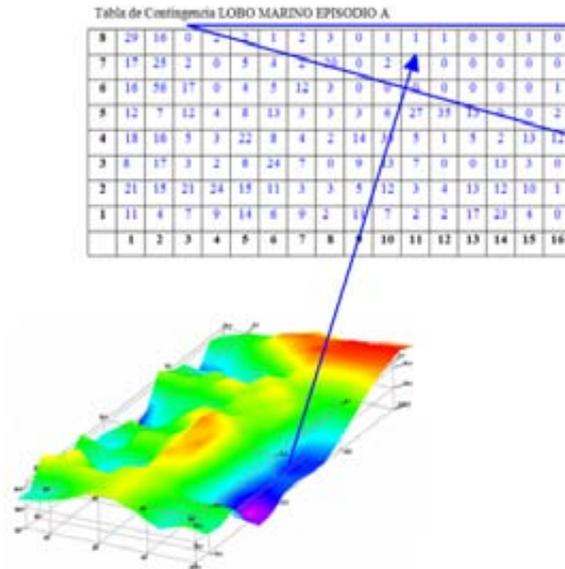


Figura 103: Imagen que representa las zonas de cambio elevado en la tasa espacial para casos de frecuencia relativamente moderadas.

Este tipo de comportamiento espacial podría estar indicando que la direccionalidad en la acción causal de la distribución es difusa, debido a la inestabilidad (elevada tasa de cambio espacial), percibida en las zonas donde los valores de frecuencias son altos y moderadamente bajos. Al existir vecinos con valores bastante disímiles, podría mostrar un comportamiento espacial con tendencia al azar.

5.2.2. B. Episodio F.

Formato original de los datos: Frecuencia (retícula 0,5x0,5).

N= 419

ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN SOBRE EL CAMPO ESCALAR

La imagen del *campo escalar* de la población *lobo marino* en episodio F es la siguiente:

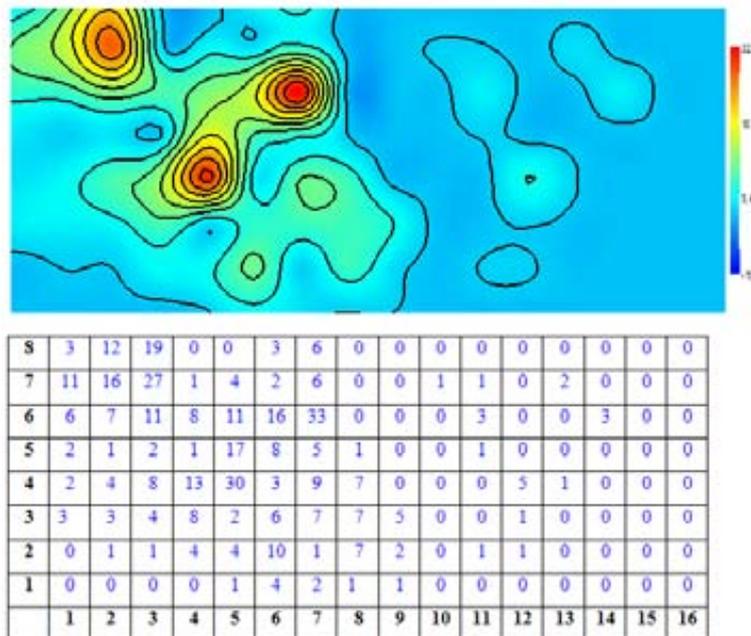


Figura 104: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin -plane Splin*) y la tabla de contingencia.

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

	X	Y	Símbolo
Media	5,03	5,15	★
Desviación Estándar	2,60	1,86	⊙

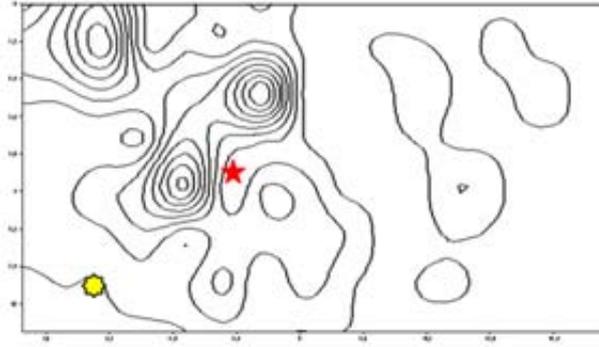


Figura 105: Isolíneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en amarillo la localización de la desviación.

Desviación Estándar Distancia (d) 3,21 m

MEDIDAS DE REGULARIDAD

Densidad Media 3,99 puntos/m²

Según el número de casos y las retículas existentes, se espera una densidad media por pixel de un *resto de lobo marino* para que la población fuera normal.

	Lobo marino
Mínimo	0
Máximo	33
Moda	0
Media	3,27
Desviación	5,81
Varianza	33,80
Asimetría	2,83
Kurtosis	9,27
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0

Tabla 12: Descriptores de la regularidad espacial

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no está normalizada (el test de normalidad S.-W. es inferior a 0,05). Esta serie cuenta con un valor *modal* (0) y de

media (3,27). Las medidas de dispersión (desviación, varianza y amplitud) muestran una tendencia a la baja. Las medidas de distribución muestran un valor de asimetría bastante bajo y una curtosis con un valor que tiende a ser apuntado. Estas medidas se pueden interpretar como una tendencia a la concentración en torno a la media por parte de la distribución.

La población se reparte en las 128 cuadrículas del área muestral, del siguiente modo:

- Para el caso de la *moda*, las retículas se organizan en valores
 - Por debajo: 0
 - Con el mismo valor: 60 (equivale al 46,9% de la población)
 - Por encima: 68 (el 53,3%)
- Para el caso de la *media* las retículas se organizan en valores:
 - Por debajo: 85 (equivale al 66,5%)
 - Con el mismo valor: 7 (el 5,5%)
 - Por encima: 36 (el 28%)

ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN SOBRE LA *ESTRUCTURA* Y LA *CORRELACIÓN* ESPACIAL.

Los estadísticos Moran y Geary dieron los siguientes resultados:

	INDICE (n = 100)	P(alea)
Moran`s I	0,39	0
Geary`s C	0,68	1

(Implementado mediante criterio de adyacencia *Queen`s*)

Los valores obtenidos en los test muestran unos resultados de distribución espacial no aleatoria, con tendencia a la autocorrelación positiva y con disposición a la agregación espacial.

El correlograma de Moran para diferentes intervalos de distancia dio el siguiente resultado:

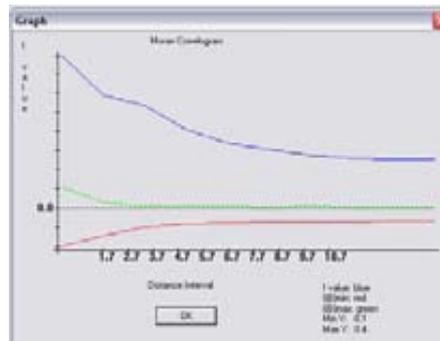


Figura 106: Imagen del Correlograma de la distribución *lobo*.

La distribución observada no presenta un comportamiento espacialmente aleatorio, mostrando una tendencia a la agregación espacial.

El análisis de la semivarianza dio los siguientes resultados:

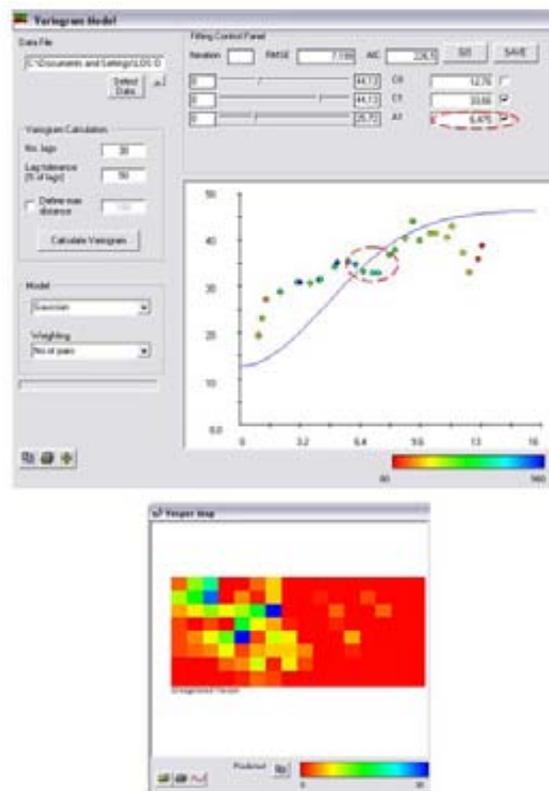


Figura 107: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a un único tamaño de retícula (0.5x0.5).

La interpretación del semivariograma es:

- i. El modelo teórico, función de color azul, adopta la forma prototípica de una dinámica espacial opuesta a la aleatoriedad. En este caso, se ha

considerado como el mejor ajuste a la nube de puntos el modelo espacial *gausiano*.

- ii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población, adopta un valor elevado (mas de 30) según la varianza total (50).
- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, (muestra la *distancia* a partir de la cual la autocorrelación sería nula) se sitúa en torno a 6,47 m.
- iv. El *efecto pepita* no es muy grande: un valor en torno a 12 sobre una oscilación de 50, equivale aproximadamente a 1/5 del total de la varianza, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativa, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

El análisis de *segundo orden* define que la distribución está autocorrelacionada y presenta una tendencia moderada a la agregación espacial.

INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y TASA DE CAMBIO

La distribución genera la siguiente superficie polinómica:

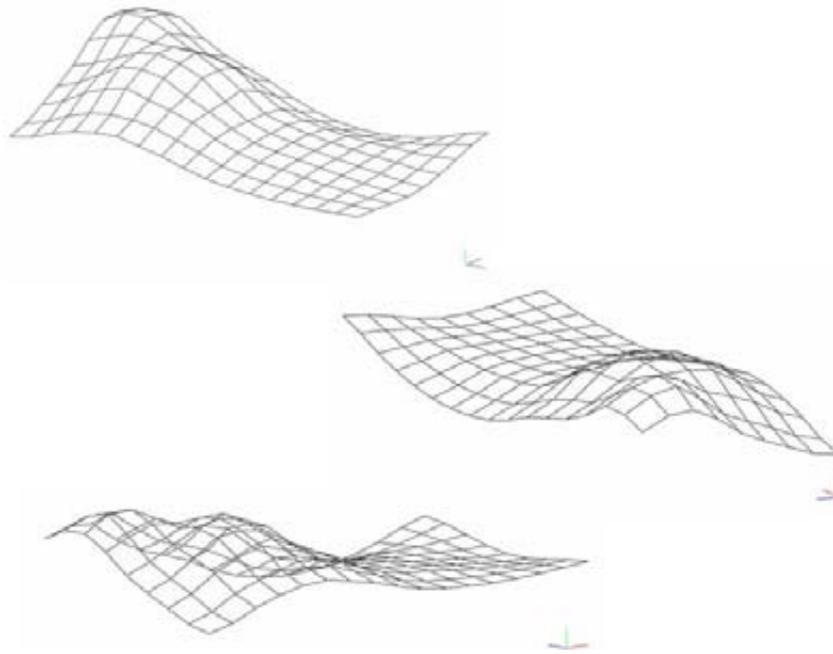


Figura 108: Superficie polinómica de Orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde S.-E., intermedio derecha, N.-W., inferior izquierda, S.-W.

Al añadir una trama de color, la superficie muestra las zonas de mayor intensidad en tonos cálidos, mientras que las zonas de menor densidad tienden a tonos fríos (La orientación de la imagen es S.-E.).

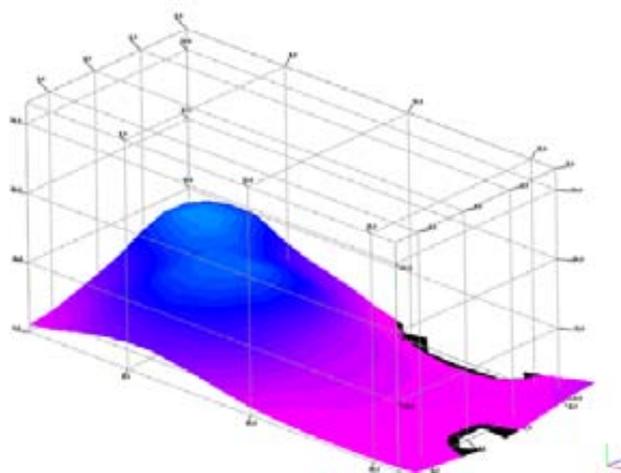


Figura 109: Superficie polinómica con trama de color de la población lobo

La ecuación, que caracteriza a esta superficie, es:

$$f(x) = a + bx - c(x-n)^2 + d(x-n)^3 + e(x-n)^4$$

(No se conocen los valores de a , b , c , n ya que es necesario tener los datos coordinados para poder calcular los valores exactos de la función: Se ha desechado el cálculo aproximado ya que distorsionaría demasiado los parámetros de la función)

Según la imagen y su función, existe un conjunto de localizaciones donde los restos de *lobo marino* se encuentran espacialmente concentrados.

La representación de la tasa de cambio espacial muestra los siguientes resultados:

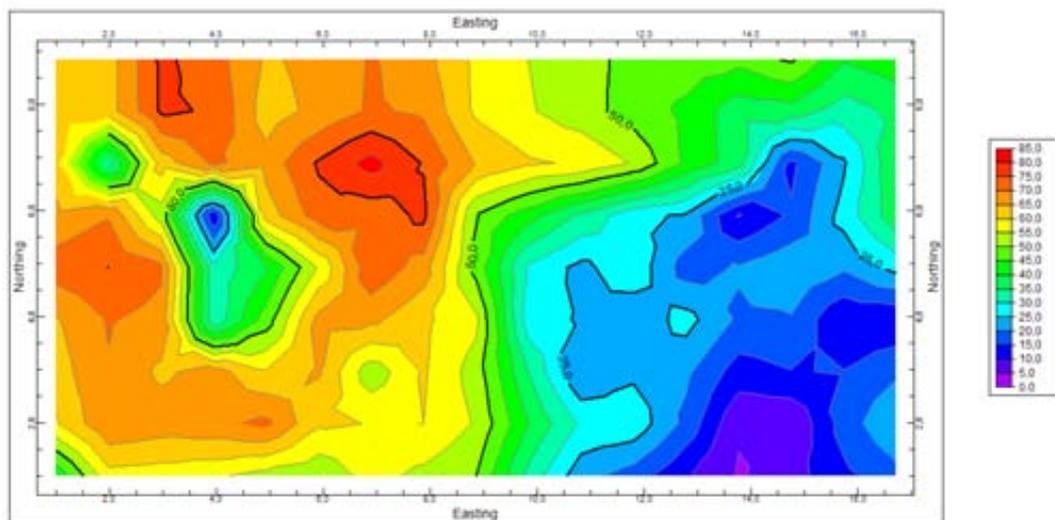


Figura 110: Gradiente de la población lobo episodio F en 2D.

La imagen muestra la baja tasa de cambio (la escala empieza a partir del 0% considerando hasta un 25% como tasa de cambio moderadamente baja), ubicada en un conjunto de localizaciones concretas.

El resultado del gradiente muestra con rotundidad los efectos de un proceso espacial de *atracción/repulsión*, siendo muy parecido al obtenido en la categoría nominal *restos de ave* en el episodio F.

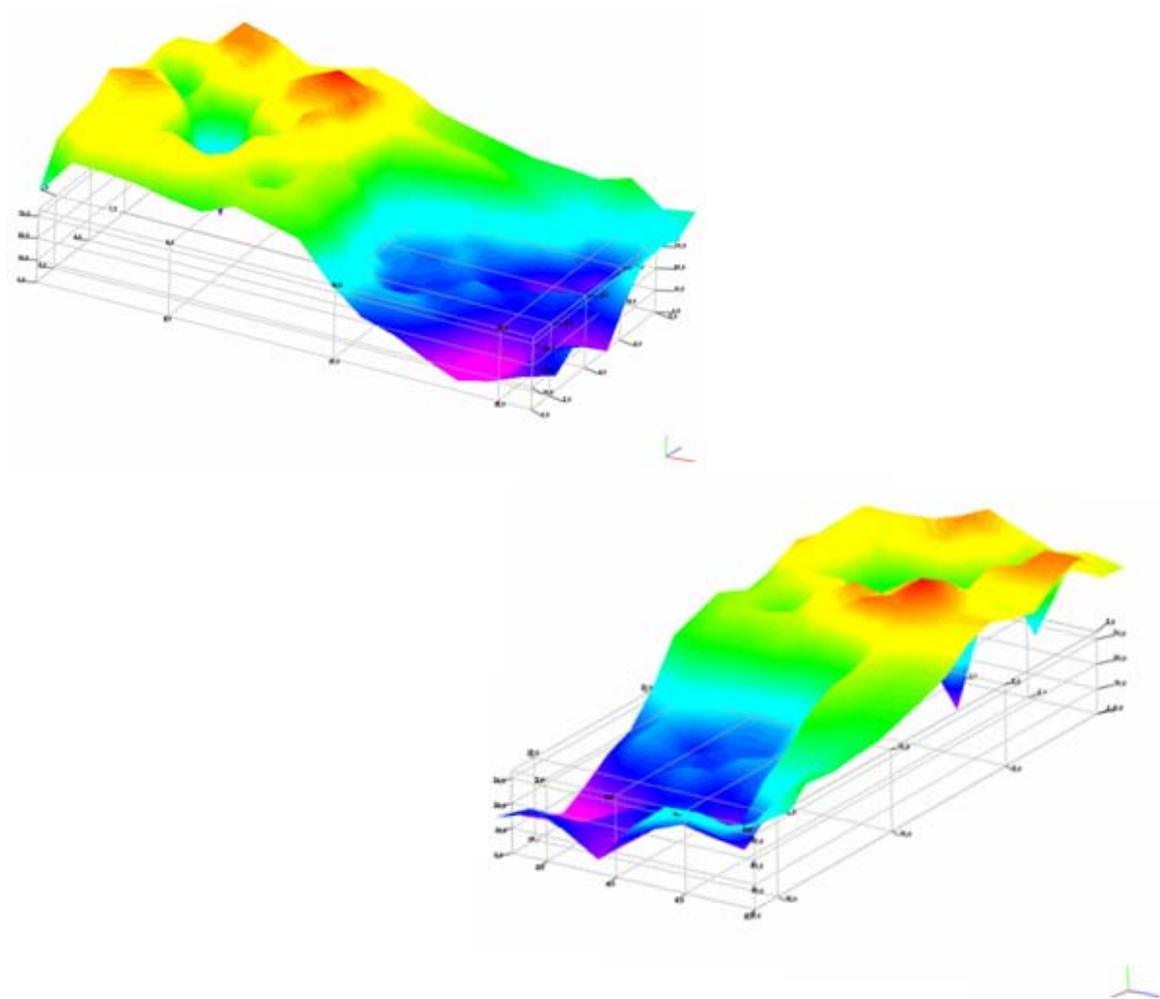


Figura 111: Gradiente 3D de la distribución. Se toman dos imágenes para remarcar la visualización: Superior derecha S.-E. Inferior derecha N.-W. Aparecen las tramas sin color en las que se aprecia la deformación.

La combinación entre superficie polinómica y gradiente establece la relación por la cual en las zonas de mayor y menor intensidad espacial (valores de frecuencia altos y bajos) la tasa de cambio es muy baja (alta estabilidad espacial).

La tasa de cambio espacial se va incrementado de manera anular desde los centros de máxima estabilidad. Se hace hincapié en que la estabilidad espacial ocupa una mayor superficie en la región *repulsora*, lo que demuestra el comportamiento espacial de la acción asociado a la distribución de restos en tanto a la gestión de los residuos, evitando una serie de localizaciones algún tipo de comportamiento espacial.

En la siguiente imagen se ejemplifica la superficie del gradiente sin trama de color, con ello se pretende mostrar aspectos concretos acerca de la forma de la tasa de cambio en la zona de *atracción* y en la de *repulsión*.

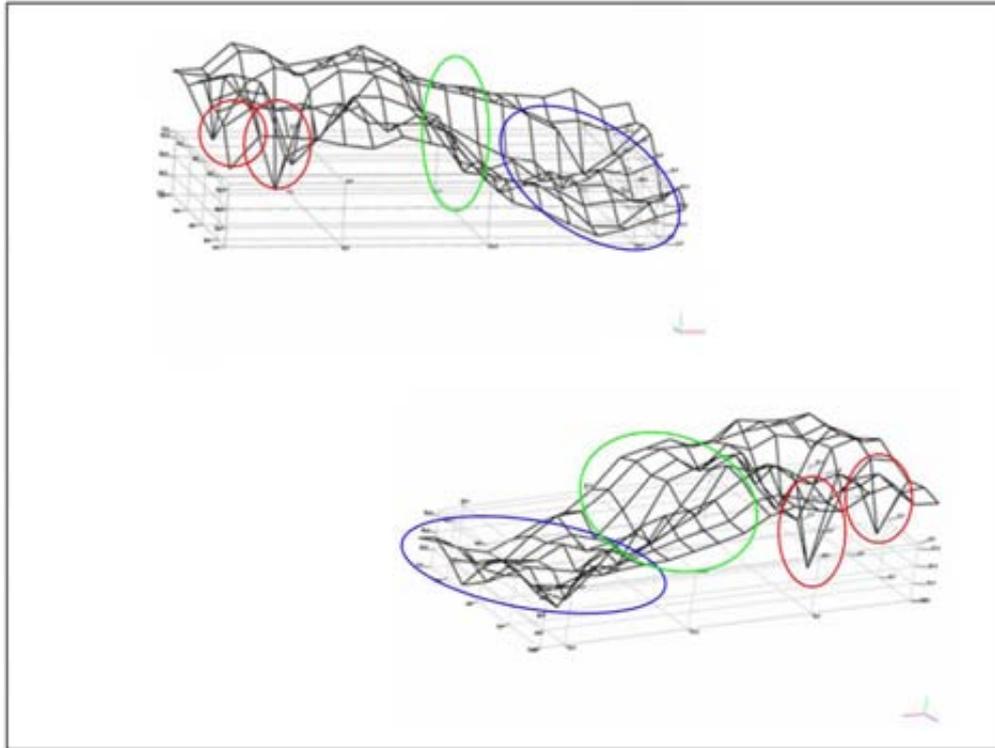


Figura 112: Imagen del gradiente sin la trama de color. Este formato permite visualizar con mayor nitidez la deformación estructural.

Para el área *atractora*, se pueden definir dos zonas sin apenas tasa de cambio. Estas zonas son puntuales, con formas puntiagudas (enmarcadas en rojo) y se encuentran rodeadas de zonas con tasas de cambio considerablemente altas.

En el área *repulsora* se define una amplia zona con una tasa de cambio muy baja. Esta zona tiene una forma suavizada (enmarcada en azul) y muestra un cambio gradual en el incremento de la tasa de cambio.

Existe un tercer elemento que destaca en estas gráficas, la *pendiente* que delimita el cambio entre las zonas de atracción y repulsión. Esta área de tránsito (enmarcada en verde) se define por un cambio brusco en la tasa de cambio espacial y se visualiza mediante una fuerte pendiente que diferencia regiones dentro del área muestral.

Finalmente, los resultados obtenidos se asemejan a los alcanzados con la categoría *ave* en el mismo episodio. Por consiguiente, las consideraciones son bastante semejantes:

- i. Se ha podido cuantificar la intencionalidad en el espacio, en base a la ocupación sistemática de un conjunto de localizaciones y en la no ocupación, igualmente sistemática, de una serie de localizaciones.

- ii. Existe una clara tendencia a la hora de elegir los emplazamientos de los efectos materiales de determinadas acciones sociales, lo que permitirá establecer una hipótesis contundente acerca de la localización de la acción causal mediante la dinámica de *repulsión/atracción* espacial.

5.2.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados obtenidos sobre el comportamiento espacial de cada una de las distribuciones tiene una determinada significación cuando se realiza de manera individualizada sobre cada una de las categorías espacialmente diferenciadas. Con ello se puede entender algunas pautas sobre la dinámica espacial de cada una de las distribuciones. Sin embargo, es mediante el análisis global de todas las categorías, lo que posibilita alcanzar una adecuada interpretación acerca de la variabilidad espacial documentada en el yacimiento arqueológico.

Al principio de este capítulo se ha comentado que tanto la elección de las *categorías*, como los *episodios* analizados responden a una serie de expectativas, lo que ha permitido postular unas determinadas problemáticas.

Desde esa coyuntura se ha planteado y analizado la variabilidad espacial en base a los principios de esta tesis: cuantificar, en la medida de lo posible, la probabilidad de localizar una acción (o conjunto de acciones) en base a una determinada fracción de sus restos materiales.

Los resultados conseguidos son congruentes, aunque también se reconoce que el análisis implementado es:

- Fraccionado, tanto en la elección de *categorías* como en la selección de *episodios*.
- Elemental, debido a las características básicas de las categorías analizadas (Ave y Lobo marino) y a la hipótesis causal (acciones sociales vinculadas con la gestión del residuo de restos de consumo).

Aún con estas salvedades, se considera que el potencial analítico es elevado, ya que a medida que se integren nuevos resultados en tanto al análisis de la materialidad, como sus hipótesis causales, se podrá cuantificar con mayor rigor la probabilidad en la localización de la acción y el comportamiento espacial (ya sea antrópica, ya sea natural) que defina a esa variabilidad.

Los resultados obtenidos y su interpretación no sólo han permitido resolver la problemática planteada, sino que abre nuevas posibilidades en la investigación sobre la variabilidad espacial del yacimiento Tunel VII.

A continuación, se realiza una exposición comparativa entre los resultados obtenidos, pretendiendo alcanzar una interpretación global sobre los cambios detectados.

El primer bloque comparativo se hace entre *categorías* (según episodios), mientras que el segundo se realiza entre *episodios* (según categorías).

1. Comparativa entre *categorías*:

- a. Categoría nominal *Ave*

La comparación de los resultados obtenidos para la *categoría* nominal *ave* muestra conductas espaciales desiguales según el *episodio* en el que se encuentre. Aunque en ambos *episodios* existe una dinámica espacial no aleatoria, con presencia de autocorrelación, y un comportamiento agregado, se considera que en cada *episodio* existen diferencias significativas acerca de las medidas de la variabilidad, aunque se admite que no son causadas por el número de individuos que compone cada población.

La descripción de la centralidad espacial indica mayor dispersión en el *episodio* A (ya que la *desviación estándar de la distancia* es mayor).

El análisis de la regularidad en las frecuencias (sin implicación espacial) revela una mayor estabilidad en los valores de la población en el *episodio* F, lo que implica una mayor concentración en torno al valor medio de las frecuencias.

Según los test de análisis de *segundo orden*, existe mayor grado de agregación espacial (autocorrelación positiva) en el *episodio* F. La medida de la autocorrelación espacial (semivarianza) resultó ser más elevada en el *episodio* A.

Estos resultados son una prueba cuantitativa de la intencionalidad en la ubicación espacial de la acción causal (gestión del residuo) sobre unas localizaciones concretas. Al existir autocorrelación positiva y agregación espacial, los valores de semivarianza espacial bajos, pueden ser interpretados como probabilidad elevada en la recurrencia espacial sobre un determinado conjunto de localizaciones. En el *episodio* A, dicha recurrencia se encuentra más difuminada que en el *episodio* F, donde la recurrencia en una serie de localizaciones es más evidente.

Los resultados logrados mediante la interpolación y la tasa de cambio espacial (gradiente), permiten establecer un contexto interpretativo acerca de las causas de la distribución espacial objeto de estudio en términos de intencionalidad espacial (atracción/repulsión de la acción/es sobre un conjunto de localizaciones posibles).

La superficie polinómica indica la deformación espacial en base al peso (intensidad del proceso espacial sobre una determinada localización) que cobra cada píxel en relación a los píxeles vecinos. De este modo, si los valores localizados en píxeles vecinos no varían (o es una variación escasa), no se producirá deformación o será mínima. Por el contrario, si existe una fluctuación considerable entre los valores en píxeles vecinos, la deformación será considerable.

En el análisis comparativo entre los episodios (A, F) de la variable (ave) se puede afirmar que la superficie polinómica del *episodio A*, se encuentra más deformada que la del *episodio F*.

La estimación del gradiente informa sobre la tasa de cambio espacial producida en el área donde se distribuyen los efectos materiales de la acción. Si la tasa de cambio es elevada, la superficie del gradiente se caracteriza por tender a la irregularidad, pudiendo mezclar zonas de intensidad espacial (esto es valores de frecuencia) alta y baja. Frente a esto, si la tasa de cambio es moderada, o baja, la superficie es estable para un conjunto de localizaciones en las que la tasa de cambio iría aumentando a medida que se aleje de la zona de mayor estabilidad espacial (el no cambio).

La homogeneidad en una determinada región no está en función de que las frecuencias de valor sean altas o bajas (solo debe cumplirse que los valores próximos no sean disímiles). Ahora bien, el valor de la frecuencia en un área homogénea sí determina la dinámica de *atracción* o *repulsión* espacial sobre dicha área. Con ello, si una región es homogénea (tasa de cambio baja) y con valores de frecuencia altos, la probabilidad de *atracción espacial* de una serie de acciones será considerablemente elevada.

Del mismo modo, si la región es homogénea y presenta unas frecuencias de valores bajos, la probabilidad de *repulsión espacial* de una serie de acciones en dicha región, será elevada.

Según lo dicho, el análisis del gradiente del *episodio A* muestra una disposición espacial de la tasa de cambio mucho más irregular que la existe en el *episodio F*, lo cual indica que en *A* no se encuentra tan precisada, como en el *episodio F*, la dinámica de atracción/repulsión en la localización de las acciones vinculadas con la gestión espacial del residuo.

En el *episodio* A parece existir una predisposición espacial a la *repulsión* de la acción sobre determinadas localizaciones, ya que cuando el gradiente reconoce tasas de cambio significativamente bajas, éstas coinciden espacialmente con localización de valores de frecuencia bajas, a la vez que en tasas de cambio significativamente altas, coincide con valores de frecuencia elevados

En el *episodio* F, se concreta la aparición de *atracción* y *repulsión* espacial, aunque la *repulsión* ocupa más superficie y se encuentra definida de una manera más contundente.

b. Categoría nominal *Lobo marino*

La comparación de los resultados obtenidos para la *categoría* nominal *lobo marino* indica conductas espaciales diferentes según el *episodio* en el que se encuentre. Aunque para ambos *episodios* existe una dinámica espacial no aleatoria, con presencia de autocorrelación y un comportamiento agregado. Se considera que en cada *episodio* existen diferencias significativas acerca de las medidas de la variabilidad, aunque se admite que no son causadas por el número de individuos que compone cada población.

La descripción de la centralidad espacial indica mayor dispersión en el *episodio* A (ya que la *desviación estándar de la distancia* es mayor).

El análisis de la regularidad en las frecuencias (sin implicación espacial) revela que el *episodio* F tiene una mayor intensidad a la concentración que el *episodio* A.

Según los test de análisis de *segundo orden*, en ambos episodios la variable regional resultó ser espacialmente agregada, aunque destaca la debilidad de la autocorrelación en el *episodio* A (resultados de los test de Moran y Geary).

La medida de la autocorrelación espacial (semivarianza) resultó ser considerablemente más elevada en el *episodio* F.

La interpretación del semivariograma en base a al resto de resultados explica las causas de esos valores de autocorrelación. Probablemente, el proceso espacial que caracteriza la distribución en el *episodio* F combina un número escaso de posibles localizaciones de la acción y una considerable intensidad en la realización de dicho proceso, lo que otorga un valor alto en la autocorrelación (mayor distancia). Mientras que para el *episodio* A se aprecia un número de localizaciones significativamente mayor, lo que puede inducir a la

compartimentación espacial, implicaría un valor bajo en la autocorrelación, ya que la función semivariograma estaría detectando varias distancias.

Estos resultados son una prueba cuantitativa de la intencionalidad en la ubicación espacial de la acción causal (gestión del residuo) sobre unas localizaciones concretas. Al existir autocorrelación positiva y agregación espacial, los valores de semivarianza oscilan en torno al tipo de comportamiento espacial predominante.

Los resultados obtenidos mediante la interpolación y la tasa de cambio espacial (gradiente), permiten establecer un contexto interpretativo acerca de las causas de la distribución espacial objeto de estudio en términos de intencionalidad espacial (atracción/repulsión de la acción/es sobre un conjunto de localizaciones posibles).

La superficie polinómica indica la deformación espacial en base al peso (intensidad del proceso espacial sobre una determinada localización) que cobra cada píxel en relación a los píxeles vecinos. De este modo, si los valores localizados en píxeles vecinos no varían (o es una variación escasa), no se producirá deformación o será mínima. Por el contrario, si existe una fluctuación considerable entre los valores en píxeles vecinos, la deformación será considerable.

En el análisis comparativo entre los episodios (A, F) de la variable (lobo marino) se puede afirmar que la superficie polinómica del *episodio A* se encuentra un tanto más deformada que la del *episodio F*, no por intensidad (ya que la deformación de F es considerablemente más significativa) sino por la presencia de más distorsiones (valores altos-bajos) en la superficie del *episodio A*.

Según lo dicho, el análisis del gradiente del *episodio A* muestra una disposición espacial de la tasa de cambio mucho más irregular que la documentada en el *episodio F*. Esto implica que en el *episodio F*, la dinámica de *atracción/repulsión* en la localización de las acciones vinculadas con la gestión espacial del residuo es mucho más evidente que en el *episodio A*. En este *episodio* parece existir una mayor significancia en la *repulsión* de la acción sobre determinadas localizaciones (ya comentado en texto).

En el *episodio F* se diferencia con bastante nitidez la dinámica de *atracción* y *repulsión* espacial, aunque la *repulsión* (igual que sucedía con la categoría ave) ocupa más superficie y se encuentra definida de manera más contundente. Aún así, destaca tanto la notable estabilidad espacial como la paulatina tasa de cambio documentada en el área atractora.

2. Comparativa entre *episodios*:

El resultado de comparar los dos episodios en función a las distribuciones de diferentes poblaciones, las cuales responden a una acción causal similar (gestión espacial del residuo) permitirá entender determinados aspectos espaciales.

a. Episodio A (categorías ave y lobo)

Los resultados de las medidas de centralidad y regularidad son bastante parecidos, también es cierto que el número de casos es casi similar (ave 948, lobo 954), lo que puede influir, pero no determinar en los resultados⁵³. Cabría mencionar que las medidas de dispersión y de distribución de la frecuencia (sin implicación espacial) son más bajas en el caso del lobo que del ave. Destaca el valor de la curtosis en lobo que es casi la mitad que en ave, lo que demuestra que los valores de la frecuencia de lobo están más próximos a la media que en el caso del ave.

Según los test de análisis de *segundo orden*, ambas poblaciones están autocorrelacionadas y en ambos casos, se tiende a la agregación. Aunque se destaca los valores relativamente bajos en los test de Moran y Geary por parte de la población *lobo*. La medida de la autocorrelación espacial (semivarianza) muestra unos valores muy dispares para cada población. En el caso del *ave* es un valor alto (10,6 m.) mientras que, comparativamente, el caso del *lobo* es muy bajo (2,3 m).

La concordancia entre autocorrelación baja medida por los test y una distancia de autocorrelación escasa en la población *lobo* y en oposición al *ave*, hace pensar en que la población *lobo marino* podría contar con varios procesos de concentración espacial en diferentes localizaciones. Esa circunstancia puede justificar los resultados de autocorrelación, ya que al existir varios procesos operando a la vez, unos interfieren sobre otros, de tal manera que la semivarianza detectaría el proceso más “intenso”, pero influenciado por los demás.

La comparación entre los resultados obtenidos en la interpolación y la tasa de cambio espacial (gradiente), permiten establecer el contexto interpretativo sobre las posibles

⁵³ Se recuerda al lector que las acciones suelen encontrarse dirigidas a una finalidad (Leont'ev 1974), la recurrencia y regularidad en las acciones, puede deparar determinadas implicaciones espaciales.

causas de las distribuciones en términos de intencionalidad espacial (atracción/repulsión de la acción/es sobre un conjunto de localizaciones posibles).

Las superficies polinómicas de *ave* y *lobo* muestran una localización en las concentraciones de cada población bastante diferente. En el caso del *ave*, la concentración destaca en el S.-W, mientras que en el *lobo*, la concentración se localiza en el N.-W. La superficie que se encuentra menos deformada es la de *lobo*, debido a que las diferencias entre píxeles relativamente próximos no es tan acusada (grado de deformación) como en el caso del *ave*. Esta tendencia en *lobo marino* puede deberse a la existencia de una concentración espacial secundaria (enmarcada en discontinuo con color anaranjado).

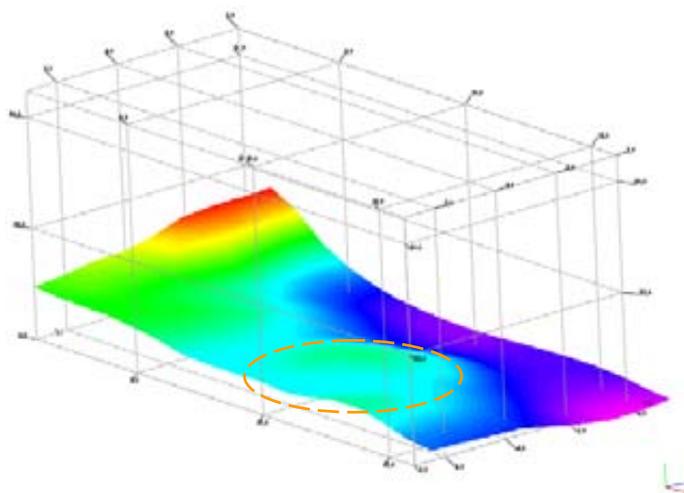


Figura 113: Imagen de la superficie polinómica de *lobo marino* en episodio A.

Al existir esa concentración secundaria, se atenúa el contraste entre las bajas y altas frecuencias.

Los gradientes presentan unas condiciones similares a la polinómica, es decir, las mayores tasas de cambio (que coinciden con las zonas de mayor agregación) están invertidas (el *ave* en el S.-W, el *lobo* en el N.-W.) La coincidencia en la ubicación de tasas de cambio bajas sí se parece un tanto, no obstante, cada población se diferencia de la otra. Por otra parte, existe coincidencia en que las tasas de cambios moderadas-bajas, suelen concordar con frecuencias de valor bajas.

La relación espacial que existe entre ambas categorías estaría en unos niveles normales de correlación (un aproximación en tono al 70% de correlación positiva), consecuencia obvia ya que la acción causal atribuida a ambas categorías es la misma.

Aunque también es cierto que existen divergencias, sobretodo, en lo que se refiere a la semivarianza y la superficie polinómica. Una posible interpretación de esas disimilitudes pueda estar en las mismas condiciones espaciales del área de actuación (se recuerda que es la 1ª ocupación del sitio). Por otro lado, se debe tener en cuenta la particular naturaleza de cada tipo de materialidad (morfometría, peso, cinemática,...), lo que puede implicar comportamientos espaciales un tanto diferentes.

Con estos resultados, se realiza una última prueba en la que se han integrado los valores de cada población, configurando un único conjunto al que se le atribuye la misma acción causal. De este modo, las diferencias particulares y las semejanzas comunes de cada población se integran en un conjunto superior desde el cual se pueda determinar tendencias espaciales a nivel global. Esto permite relacionar la localización de acciones vinculadas a la gestión del residuo, con otras que se localizaron en la mismas área muestral, como puedan ser: espacio construido (cabaña), áreas destinadas a determinadas actividades como por ejemplo: procesado de alimentos (carnicería, cocción,...), producción de instrumentos (tallado de lítica,...)

Es de esta manera es como se podrá establecer un análisis multivariante, en el que el “mapeado” de la atracción/repulsión en la localización más probable de cada una de las acciones, se correlaciona con las demás acciones, estableciendo la existencia o no de dependencia espacial entre las mismas.

La superficie polinómica compuesta de *ave* y *lobo marino* en el *episodio A* queda del siguiente modo:

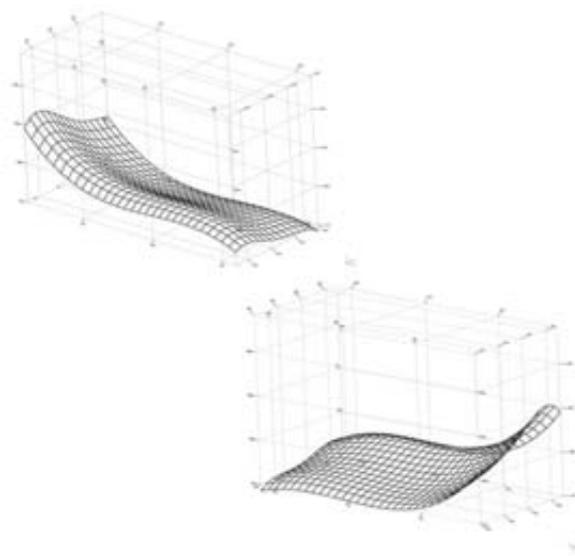


Figura 114: Imágenes de la superficie polinómica superior S.-E., e inferior N.-W.

El gradiente espacial del conjunto muestra los siguientes valores y una forma determinada:

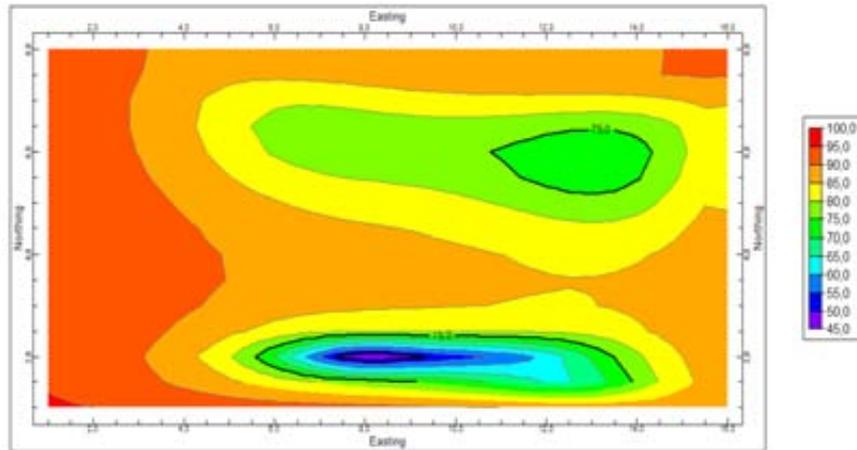


Figura 115: Imagen 2D del gradiente espacial.

El resultado del gradiente indica que la tendencia en la tasa de cambio es elevada, ya que empieza con un valor mínimo del 45%. Esto muestra la alta variabilidad espacial de la distribución.

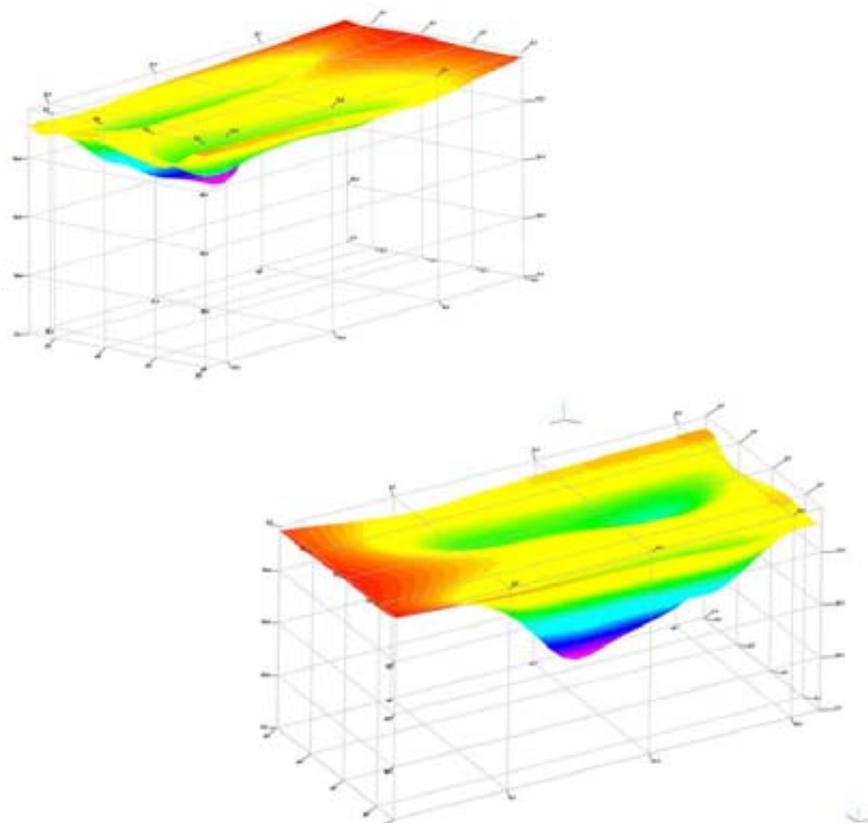


Figura 116: Imágenes del gradiente visto desde N.-E (superior) y S.-E (inferior).

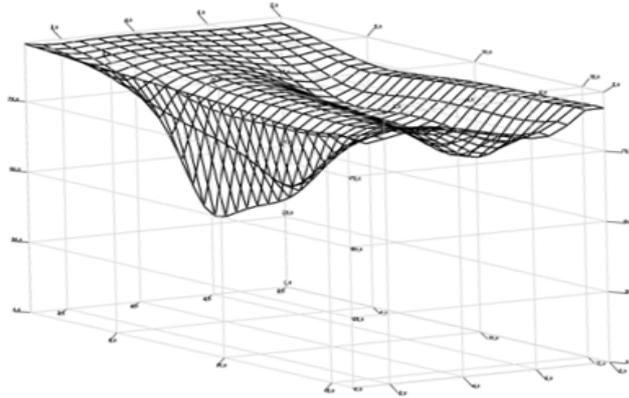


Figura 117: Imagen del gradiente entramado visto desde S.-E. Con ello, se consigue visualizar la forma de las regiones donde la tasa de cambio es baja.

Según los resultados del gradiente, las mayores tasas de cambio se encuentran localizadas en el W., que es además donde se ubican los valores de frecuencia más elevados (según la superficie polinómica). Los valores de tasa de cambio más bajos se configuran mediante unas formas muy peculiares (ambas subáreas discurren de forma paralela al eje W.-E), ya que la tasa de cambio es significativamente alta (con un valor mínimo de casi el 50% de cambio), el resultado del gradiente se ajusta a esas condiciones: tendencia difusa en tanto a la localización de la dinámica espacial de *repulsión/ atracción* de acciones.

b. Episodio F (categorías *ave* y *lobo*)

Los resultados de las medidas de centralidad y regularidad son bastante parecidos, salvo en el parámetro densidad media (probablemente, debido a la diferencia de población ave 673, lobo 419). Las medidas de dispersión y de distribución de la frecuencia (sin implicación espacial) son propias de cada población, destacando el valor de la curtosis en lobo, que es casi tres veces mayor que la del ave.

Según los test de análisis de *segundo orden*, ambas poblaciones están autocorrelacionadas y en ambos casos se tiende a la agregación. La medida de la autocorrelación espacial (semivarianza) muestra unos valores parecidos para cada

población, (nada que ver con el desfases de semivarianzas existentes en el episodio 1) para el ave, un valor de 7,5m. Para el lobo de 6,45m.

La comparación entre los resultados obtenidos en la interpolación y la tasa de cambio espacial (gradiente), permiten establecen el contexto interpretativo sobre las posibles causas de las distribuciones en términos de intencionalidad espacial (atracción/repulsión de la/s acción/es sobre un conjunto de localizaciones posibles).

Las superficies polinómicas de ave y lobo muestran una localización en las concentraciones de cada población bastante parecidas, ambas en el W. La superficie que se encuentra menos deformada es la del lobo, por el contrario en la superficie polinómica del ave se puede apreciar más irregularidades.

Los gradientes presentan unas condiciones peculiares, frente al caso del episodio 1, ahora las tasas de cambio más bajas se encuentran tanto en frecuencias de valores altas como en bajas. Esto lleva a la determinación de un carácter muy marcado de repulsión/atracción sobre la localización de acciones en diferentes regiones del área muestral.

La relación espacial que existe entre ambas categorías estaría en unos niveles elevados de correlación (en tono al 90% de correlación positiva), consecuencia obvia, ya que la acción causal atribuida a ambas categorías es la misma y la coyuntura física es diferente a las existentes en episodio 1 (con un nivel de correlación más bajo).

Aunque también existen pequeñas divergencias (de escasa importancia), sus causas deben atribuirse a la naturaleza particular de cada tipo de materialidad.

Al igual que en *episodio A*, a continuación, se realiza la prueba en la que se han integrado los valores de cada población, configurando un único conjunto al que se le atribuye la misma acción causal. Con ello, se podrían establecer las relaciones con las localizaciones de otras acciones en la misma área muestral y realizar el análisis multivariante para lograr un “mapeado” de la *atracción/repulsión* en la localización más probable de cada una de las acciones.

La superficie polinómica compuesta de ave y lobo en el *episodio F* queda del siguiente modo:

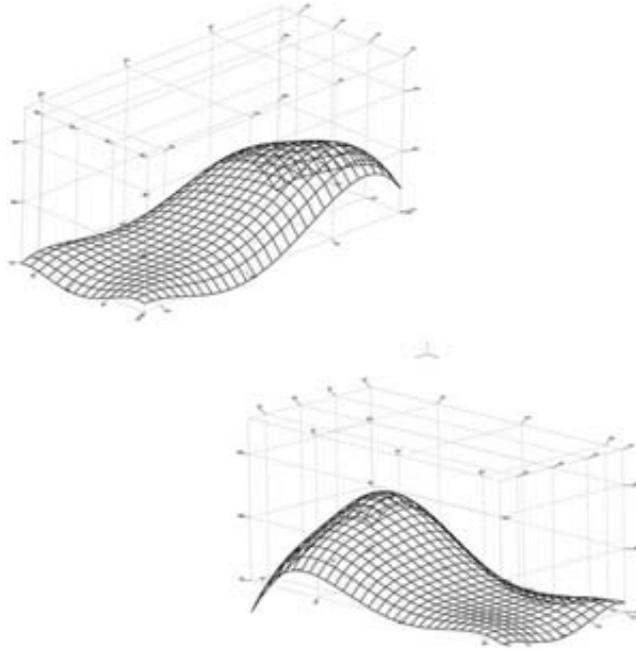


Figura 118: Imágenes de la superficie polinómica desde N.-E y S.-E.

El gradiente espacial muestra una tasa de cambio bien estructurada (en torno a una estructura pseudo-anular). Destaca la presencia de los valores más elevados en el cambio, que se encuentran en los bordes del área prospectada. Si se relaciona con el resto de la superficie, probablemente esté indicando rasgos de aleatoriedad.

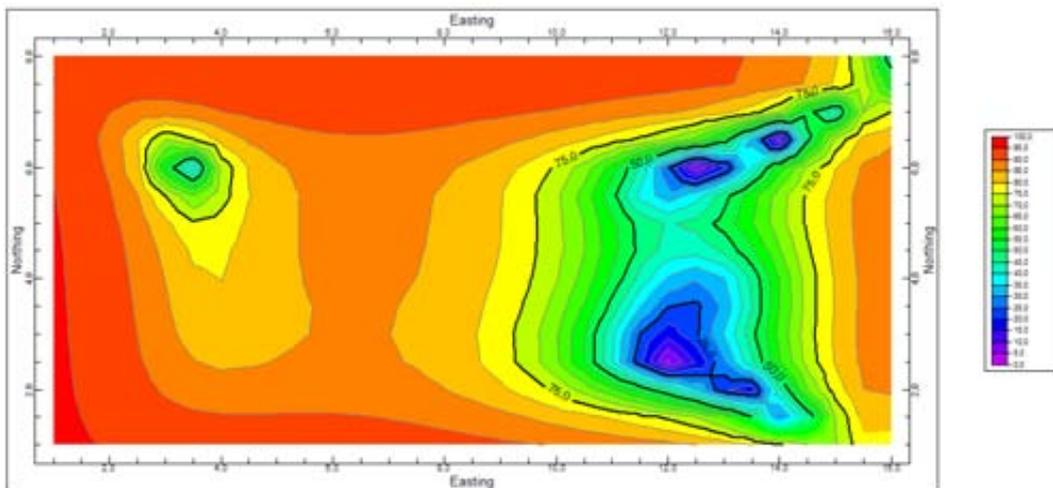


Figura 119: Gradiente en 2D. Según los valores de escala, la tasa de cambio es moderadamente baja hasta el 30-35%. Es interesante ver las isóneas de tasa de cambio del 50% y el 75%.

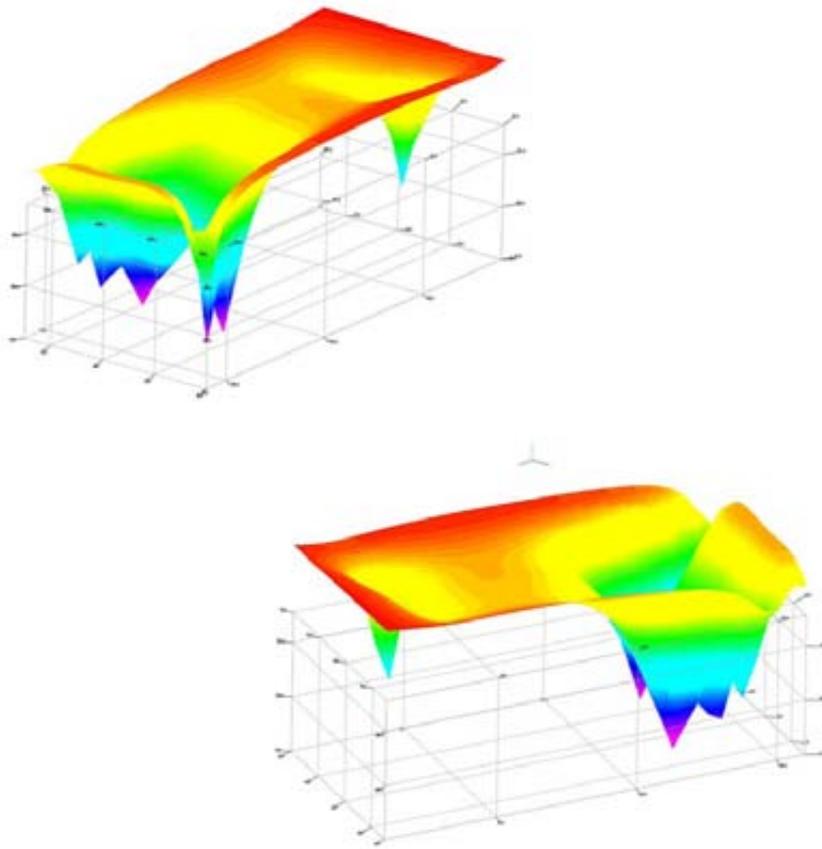


Figura 120: Imágenes del gradiente en 3D visto desde N.-E y S.-W.

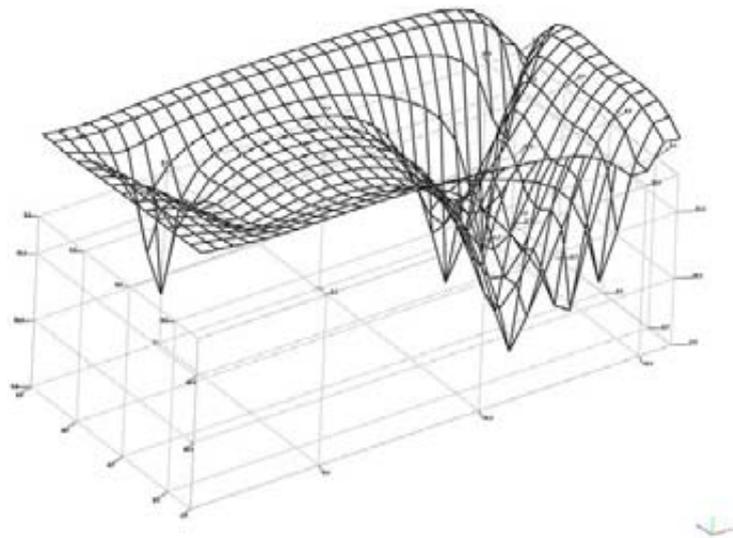


Figura 121: Imagen del gradiente entramado visto desde S.-W. Con ello se consigue visualizar la forma de las regiones donde la tasa de cambio es baja, la mayor al E. y una más pequeña en el W.

Según los resultados del gradiente, las mayores tasas de cambio se encuentran localizadas en los bordes del área muestral, mientras que existen dos zonas en las que el cambio es relativamente bajo o escaso.

En una de esas zonas existen coincidencias entre tasa de cambio baja y frecuencia de restos escasos. Este fenómeno espacial se produce en el E. y se vincula a la *repulsión* espacial de determinadas acciones sobre un conjunto determinado de localizaciones.

La otra zona de baja tasa de cambio se encuentra ubicada en lugares donde predominan frecuencias de materiales significativamente alta (se localiza al W.). Con ello, se reconoce la *atracción* espacial de determinadas acciones sobre esas localizaciones.

Es interesante observar la ubicación de las zonas donde la tasa de cambio es elevada: los bordes del área prospectada. Esto parece reforzar la dinámica espacial en cada una de las subáreas donde sus respectivos centros definen, perfectamente, la tasa de cambio, implicando un determinado comportamiento espacial (*repulsión* o *atracción*). Frente a esto, las periferias muestran unas tendencias poco definidas, aunque eso sí, bien estructuradas en torno a una elevada tasa de cambio entre píxeles vecinos, lo cual lleva a una indefinición espacial, unas subregiones en donde... *todo puede valer*.

Se recuerda que en este caso (lo que no sucede en *episodio A*) existe coincidencia entre polinómica y gradiente en tanto a que las zonas de baja tasa de cambio se encuentran ubicadas *donde* la frecuencia de aparición de restos es baja (en el E. del área prospectada), definiendo la tendencia a la *repulsión* espacial de acciones. En determinadas localizaciones *donde* las frecuencias de restos son altas, existe una subárea donde la tasa de cambio también es mínima (no tan baja como la del E.), configurando una subárea espacial altamente estable y con clara tendencia a la *atracción* espacial de acciones.

Según lo expuesto, la caracterización de la variabilidad en los comportamientos espaciales de las categorías materiales en cada *episodio* queda contrastada y justificada. Esto implica que la *atracción* y/o la *repulsión* espacial no sólo se pueden percibir, sino que es perfectamente cuantificable.

Sin embargo, las causas de la dinámica *atracción/repulsión* no se encuentran en estos argumentos, tan sólo son descritas, lo cual lleva a la pregunta obvia: ¿Por qué existen estos comportamientos espaciales y por qué se encuentran estructurados de esa manera en cada uno de los *episodios*?

La única vía que puede aportar una solución a esta (nueva) problemática, se excede de lo estrictamente espacial, aunque está estrechamente vinculado a ello: los *agentes* que realizan las acciones y las *circunstancias* pre-existentes, en donde se llevó a cabo la acción.

Estos son los auténticos *motores* del comportamiento espacial y sin una referencia a los mismos, el análisis implementado puede describir brillantemente la fenomenología observada, pero dicho análisis será nulo en tanto a la generación de hipótesis interpretativas acerca de la variabilidad espacial observada y medida.

A los resultados analíticos, se les debe agregar otro tipo de información. La primera consideración espacial a tener en cuenta es la coyuntura física existente en cada uno de los *episodios* de ocupación analizado y sus consecuencias sociales a la hora de distribuir acciones y efectos en el *espacio físico*. El resultado final (ya comentado desde la teoría en el capítulo 1) es un *espacio físico* modificado, en donde empiezan a aparecer concentraciones, uniformidades,...incluso, aleatorización espacial de conjuntos materiales diversos (restos óseos, termoalteraciones, restos líticos, hoyos de postes,...).

El *episodio A*, fue la 1ª ocupación registrada en dicha área, se asienta sobre la paleoplaya, la cual tiene unas características microtopográficas concretas. El *episodio F* es la 5ª ocupación, donde las características microtopográficas han cambiado debido a las acumulaciones/deformaciones inducidas por agentes sociales y naturales.

Estas circunstancias determinan el comportamiento espacial y producen una variabilidad en el espacio acorde a una serie extensa de relaciones, de las cuales, tan solo una parte se pueden percibir y analizar en el *espacio arqueológico*.

Las hipótesis interpretativas de la variabilidad espacial a este nivel no operan desde *categorías nominales* (ave, lobo marino), sino desde la localización de acciones espacialmente distribuidas (gestión de residuos) en cada uno de los *episodios*. De este modo:

- i. En el *episodio A*, la tendencia espacial a la inestabilidad en la distribución de los efectos materiales de la acción, se produce por las condiciones *prístinas*, o poco modificadas del entorno en donde se emplazan las acciones sociales. Aún así, se establece unas preferencias espaciales por las cuales existe una mayor permisividad en la ubicación de los *desechos* (mostrando una tendencia a la agregación de restos en un conjunto explícito de

localizaciones), a través de la delimitación sobre determinadas zonas donde esos *desechos* no pueden ubicarse, ya que probablemente sean localizaciones dedicadas a la realización de otro tipo de acciones.

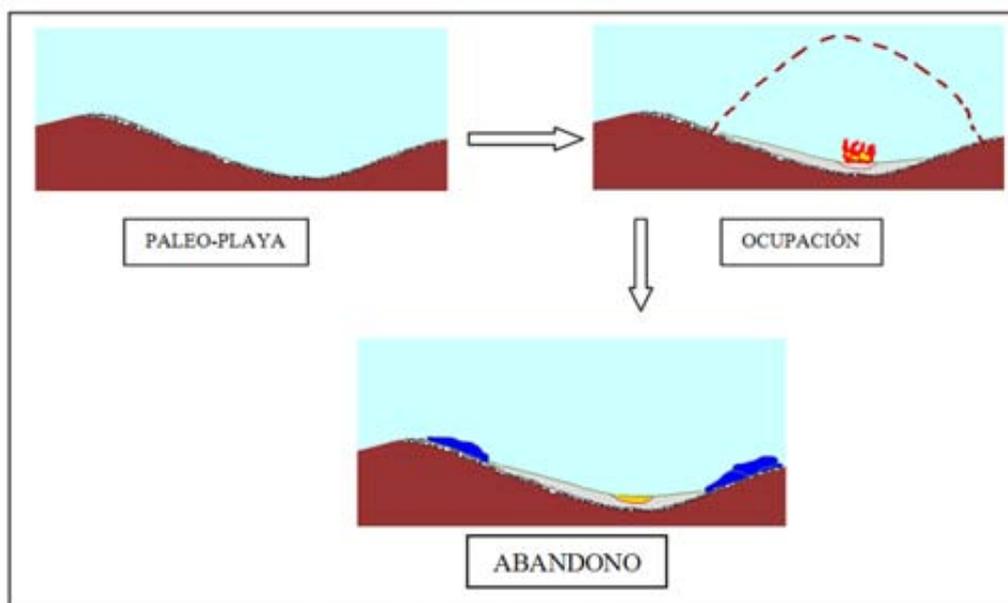


Figura 122: Secuencia esquemática del *episodio A*, al partir de un espacio sin restricciones en la localización de la acción, la atracción espacial se mueve con mayor grado de libertad que la repulsión. Composición realizada en base a imágenes de Estévez & Vila (⁵⁴)

- ii. En el *episodio F*, la diferenciación contundente entre *repulsión/atracción* y la coherencia espacial de las áreas que siguen esa dinámica es patente. Esto se debe al alto grado de estructuración del *espacio físico* y a la tendencia social a realizar determinadas acciones (gestión espacial del residuo) en un conjunto de localizaciones predeterminadas.

⁵⁴ **Concheros de los últimos asentamientos yámana: Procesos de formación de los sitios** Jordi Estévez & Assumpció Vila. En <http://hipatia.uab.cat/exposicions/terradefoc/terradelfoc/5.pdf>

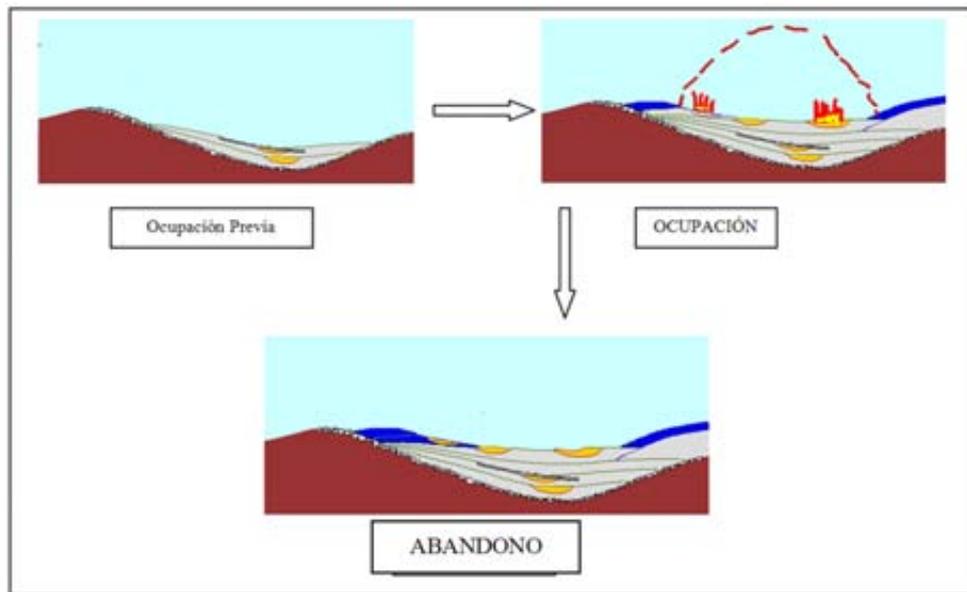


Figura 123: Secuencia esquemática del *episodio F* donde se muestran la situación previa, la cual condiciona la dinámica espacial vigente dicho episodio. Composición realizada en base a las imágenes de Estévez & Vila (5)

Si existiera la posibilidad de realizar un análisis espacial multivariante, se podrían establecer las relaciones espaciales que existirían entre diferentes acciones, estableciendo una mapificación de acciones sociales en base a una parte de sus efectos. Ya que este estudio pretende ser meramente ilustrativo, orientado a *cómo* plantear el problema espacial de la variabilidad y determinar el potencial analítico de este enfoque, se ha decidido no desarrollar la parte del análisis multidimensional.

Sin embargo, una breve reseña a sus implicaciones puede aportar algo para el desarrollo de la investigación no sólo de este yacimiento, sino de otros casos parecidos implementados en el seno del mismo grupo de investigación, o por qué no, extrapolarlo a problemáticas espaciales distintas.

En este caso ilustrativo, la determinación de la acción espacial *gestión del residuo*, en base a una determinada fracción material, ha definido un comportamiento espacial sobre unas acciones concretas.

Del mismo modo, se podría, también, haber definido la *especialidad* de otras acciones en base a restos materiales vinculados a ellas, por ejemplo: edificación de estructuras (*cabaña*), producción de objetos y/o transformación de la materia (localización de emplazamiento destinados a la talla lítica, área dedicada a actividades de carnicería...),

fuelle de transformación energética (*termoalteración* dedicada a la generación de calor, luminosidad,...), etc.

Tras el análisis espacial por separado de cada una de ellas (dinámica espacial de atracción/repulsión) se establecería la multivariación, en la que el objetivo sería definir si existe o no relación entre los comportamientos espaciales de las diferentes acciones espacialmente ubicadas.

Por ejemplo, ¿Cómo es la relación espacial entre basural y cabaña?, o mejor dicho: ¿Cómo se relacionan la localización de las acciones de gestión de residuos con las acciones vinculadas a la gestión del ““espacio doméstico””?

En principio, cabría esperar una *relación espacial negativa* donde el incremento de unas, supone la disminución de las otras. Esta sería un tipo de relación ideal, ya que mostraría que el ““buen salvaje”” (⁵⁵) limpiaba y vivía *decorosamente*... Pero una relación espacial positiva donde ambas acciones sean solidarias (incremento o disminución en unas supone el incremento o la disminución de las otras) es perfectamente viable, aunque el ““buen salvaje”” dejaría de tener *decoro* y *dignidad*...y por supuesto, la independencia espacial también es factible, aunque eso puede cuestionar la *valía* del arqueólogo que recolecta y describe, con tanto rigor científico, las evidencias del pasado.

Por tanto, gracias a estos resultados se pueden discutir cuestiones que previamente ni tan siquiera podían percibirse y mucho menos cuantificarse. Si el resultado es la falta de relación, quizás se deba cuestionar que las variables implementadas en la definición del comportamiento social no son lo suficientemente congruentes con las capacidades del registro material compilado y desplegado en el espacio. O quizás, se deban replantear los supuestos de partida, ya que el grado de *entropía* en el registro (tafonomía) será tan alto que no refleja lo esperado, no obstante, está indicando otros comportamientos acontecidos sobre la materialidad, que permiten establecer nuevas hipótesis de trabajo. O tal vez, se deba asumir que el ““buen salvaje”” hacía lo que buena-mente podía ante sus circunstancias, sin preocuparse de que en el futuro un tipo peculiar de investigador: el arqueólogo, intentarían reconstruir lo que paso allí...

Sin lugar a dudas, las pruebas siempre se pueden mejorar. Siguiendo con el ejemplo, en vez de trabajar con un análisis multidimensional de dos variables, que igual puede

⁵⁵ Entiéndase el término si ninguna connotación propia del Historicismo decimonónico, solo es un recurso literario.

inducir a error, se introduce una tercera variable en el espacio: gradiente de calor que irradia una *termoalteración* detectada al exterior de la *cabaña* y una cuarta, la distribución de ácidos grasos (que podría implicar la presencia de actividades vinculadas al procesado de alimentos, por ejemplo el secado y ahumado).



Figura 124: Recreación del proceso de ahumado y secado de alimentos en una estructura efímera asociada a un fogón. Imagen tomada de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s03.htm

El análisis multivariante mediante cuatro variables puede alcanzar unos resultados interesantes si se sabe lo que se está buscando, aunque también, puede ser una pesadilla, si la investigación plantea el análisis de la relación espacial desde el tópico recurrente en arqueología, conocido como *haber que sale...*

Si resulta que existe una correlación positiva entre gradiente térmico y distribución de ácidos grasos, la relación espacial resultante es atractiva, ya que permite localizar determinadas acciones. Si ambas acciones guardan una relación espacial negativa con la gestión del residuo y con la unidad doméstica (las cuales a su vez se relacionan entre sí de manera negativa), el paroxismo interpretativo puede ser importante, ya que todo encaja espacialmente y tan sólo faltarían los *actores* realizando sus respectivas acciones...



Figura 125: Agentes *yámanas* encima y rodeados de efectos materiales de acciones (posibles desechos de consumo: restos de valvas de diferentes tipos de moluscos) Imagen tomada de <http://www.revista.serindigena.org>

El único problema es que esas asociaciones perfectas (siguiendo a R. Peronse) se quedan en la (*nueva*) *mente ordenadora*, en este caso, del arqueólogo, ya que la parcialidad del registro material y las condiciones analíticas de la materialidad espacialmente distribuidas, condiciona la definición de acciones causales, lo que repercutirá en la posibilidad de mapificar acciones sociales en el *espacio arqueológico*.

El análisis multivariante es una herramienta muy válida, como lo demuestran sus aplicaciones en análisis espacial de ecología forestal y marina, entomología, medicina,... Ahora bien, su efectividad no se debe a que en los casos de estudio de esas ciencias sean mejores y el multivariante prefiera operar con, por ejemplo, el estudio del crecimiento y distribución de *tres* tipos de especies vegetales de *diferente tamaño* en un *ecotono*, el cual hace una década había sido arrasado por causa de incendios... Este análisis funciona, porque las preguntas sobre relaciones espaciales están bien estructuradas y se pueden modelizar adecuadamente según los datos recolectados. Por ejemplo ¿se atraen las *plántulas* de especie 1 con las de la especie 2? ¿Porqué los árboles de mayor tamaño de la especie 1 presentan a una distancia inferior a 2 m. plántulas de la especie 3?... Estas preguntas tienen solución, la relación espacial puede ser de *competencia* con lo que probablemente unas plantas se alejen lo máximo posible de otras. Se pueden producir dinámicas espaciales de *complementariedad*, lo que implica que plantas de un tipo crecen próximas a otras... Al final, se establece una interpretación congruente sobre la variabilidad espacial percibida.

Desde este tipo de argumentos es desde donde debe plantearse en arqueología, si existe la capacidad para, en primer término, entender el problema espacial y en segunda instancia, reconocer si en base a los objetos de estudio propios de la disciplina, existen medios para plantear hipótesis de trabajo, procesos de investigación y resolución del problema espacial bajo esta perspectiva.

5.3. ANÁLISIS ESPACIAL DEL YACIMIENTO *FORTÍN OTAMENDI*

Para ilustrar las técnicas en un ejemplo diametral opuesto a la del yacimiento de *Túnel VII*, se ha realizado una selección sobre la información existente en el caso arqueológico del *Fortín Otamendi*. La elección de una única categoría global definida como *palimpsesto*, la cual integra a otras tantas (fauna, vidrio, loza, metal y otros) responde al tipo de información social, en primera instancia y espacial, en segundo término, que se pueda extraer en base a la materialidad identificada bajo esa categorización. También, se ha tenido en cuenta factores cuantitativos (número de individuos que componen la población), aspectos vinculados a la calidad de los restos y particularidades del área excavada en relación a la superficie total del yacimiento. Bajo estas circunstancias y según la problemática actual, que plantea la investigación del sitio, se han enunciado dos preguntas:

¿Cómo es la distribución espacial de las poblaciones?

¿Qué significancia pueden mostrar los resultados obtenidos en el área muestral en relación a todo el yacimiento?

Para resolver la primera cuestión, la hipótesis de trabajo considera que: *la distribución espacial de los restos está espacialmente estructurada en función de algún patrón espacial diferente al aleatorio.*

La respuesta a la segunda cuestión se relaciona con los resultados analíticos, ya que en función a aquellos, se evaluará la posibilidad de cambio en la estrategia de intervención arqueológica sobre el yacimiento. Aparte de los 12 m² que se ilustran en las siguientes páginas, el yacimiento cuenta con otros 12 m² más excavados y una serie de catas arqueológicas (un total de 5) de 1x1 m², todos juntos no llegan ni al 6% del área de actuación arqueológica.

Esta superficie intervenida es relativamente escasa debido no sólo a la dimensión de todo el yacimiento, sino al tipo de metodología implementada (necesaria para evaluar la potencialidad del yacimiento). Con los resultados del análisis, se valoran las posibles implicaciones a la hora de poner en práctica otra metodología de trabajo.

5.3.1. Análisis de Primer Orden sobre la distribución de coordenados y campo escalar

Formato original de los datos: Coordenados

Formato derivado de los datos: Campo escalar (retícula 0,5x0,5)

N= 501

Ya que los datos originales provienen de *coordenados*, prevalece el criterio visual que proporciona la nube de puntos.

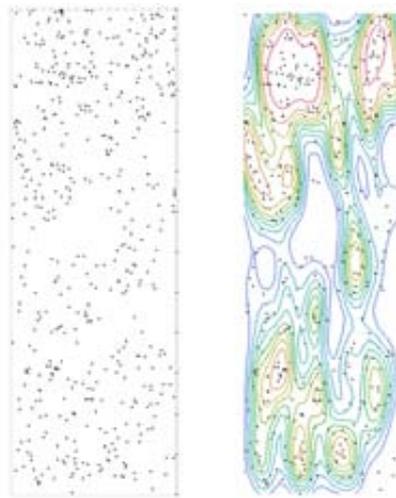


Figura 126: Visualización de la nube de puntos (izquierda) y densidad Kernel (derecha).

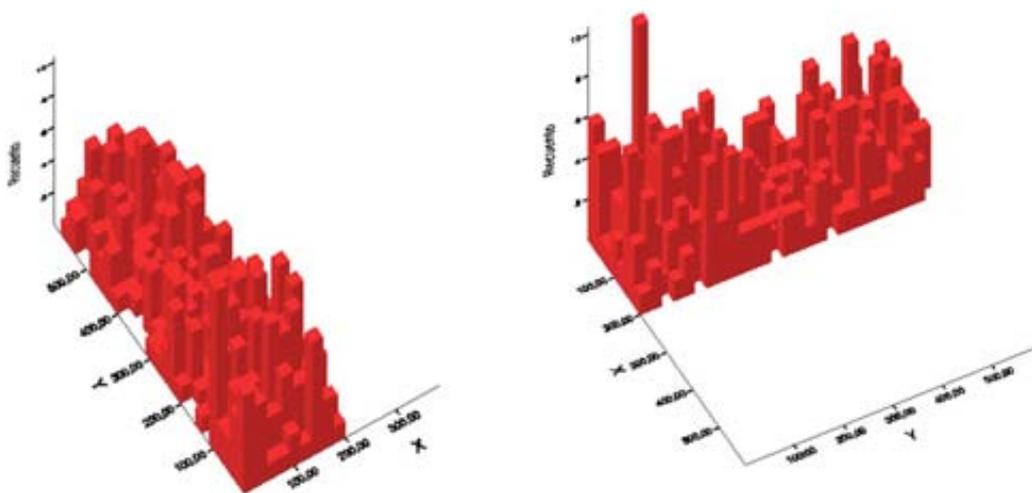


Figura 127: Visualización del histograma 3D. Izquierda vista S.-W, derecha vista desde N.-W.

MEDIDAS DE CENTRALIDAD.

En el caso de datos *coordenados*, el punto central de la distribución corresponde a la media de las coordenadas de todos los puntos:

DESCRIPTORES	n = 100	
	X	Y
Mínimo	0,01	0,001
Máximo	2	5,97
Media	1,03	2,70
Desviación Estandar	0,56	1,87
Centro de Dist. Mínimas	1,03	2,70

Tabla 13: Descripción de la distribución en base a los datos coordenados.

En el caso de la *campo escalar*, la media es una *media ponderada* según las coordenadas de las cuadrículas (centroides) y la frecuencia de restos contenidas en cada una de ellas.

Además del cálculo de la media, se incluye el valor de la desviación estándar para cada uno de los ejes, con ello se pretende visualizar la desviación que representan los datos respecto de la *media* de dicha distribución (se recuerda, que si el valor de la desviación es grande indica que los puntos están lejos de la media; mientras que una desviación pequeña, indica que los datos están agrupados cerca de la media).

	X	Y	Símbolo
Media	1,03	2,70	
Desviación Estándar	0,56	1,85	



Figura 128: Isolíneas y ubicación de media (amarillo) y desviación estándar (rojo).

Desviación Estándar Distancia (d) 3,90m

MEDIDAS DE REGULARIDAD:

El cálculo de la regularidad se realiza sobre los valores que toma la variable en cada una de las retículas (un total de 48), sin plantear cuestiones de localización.

Densidad Media 42,24 puntos/m²

Según el número de casos y las retículas existentes, se espera una densidad media por pixel de unos 10,56 *restos* para que la población fuera normal.

Mínimo	2
Máximo	28
Moda	8
Media	10,43
Desviación	4,95
Varianza	24,50
Asimetría	1,04
Curtosis	2,06
Hipt. Normalidad (Shapiro-W)	0,002

Tabla 14: Descripción de la distribución en base al campo escalar.

En la tabla, la distribución unidimensional de frecuencias no está normalizada (el test de normalidad S.-W. es inferior a 0,05). Esta serie cuenta con un valor *modal* (8) y de *media* (10,43). Las medidas de dispersión (desviación, varianza y amplitud) son considerablemente elevadas. Las medidas de distribución muestran un valor de asimetría y de curtosis muy bajo.

Los valores de la serie (501 restos), se encuentran distribuidos en las 48 retículas del área muestral de la siguiente manera:

- Para el caso de la *moda*, las retículas se organizan en valores
 - Por debajo: 9 lo que equivale al 20,8%
 - Con el mismo valor: 7 (representa al 14,6% de la población)
 - Por encima: 31 (el 64,6%)
- Para el caso de la *media* las retículas se organizan en valores:
 - Por debajo: 24 (representa al 47,9% del total de los valores)
 - Con el mismo valor: 4 (representa el 8,3 %)
 - Por encima: 21(el 43,8%)

MEDIDAS DE AGRUPACIÓN.

La manera más sencilla de medir el grado de agrupación de una *nube de puntos* consiste en construir la elipse que agrupa el 95% de todas las observaciones.

Así que, cuanto menor sea el tamaño de la elipse (menor la longitud de los ejes y menor el área) más concentrada será la serie y por tanto, existe menor tendencia a la dispersión.

Desviación estándar

<i>de la Elipse</i>	<i>Long eje X (m)</i>	<i>Long eje Y (m)</i>	<i>Área elipse (m2)</i>
	1,6	5,26	8,41

Esta prueba sólo aporta una descripción espacial acerca de cómo se encuentra agrupada la distribución y su significancia es mayor cuando se la compara con las

distribuciones producidas por otros procesos espaciales (espacialmente normalizado, espacialmente uniforme,...). Si el área completa es de 12 m², la dispersión en la nube de puntos es significativamente elevada.

5.3.2. Análisis de Segundo Orden: estructura y correlación espacial

Análisis del Vecino más Próximo (NNA):

Los índices del *vecino más próximo* muestran unos valores de aleatoriedad considerable y el índice de probabilidad, Prob (alea), da un valor de superior al 0,05 con lo que se determina que la distribución es espacialmente aleatoria (aunque se reconoce que en ambos estadísticos la significancia del índice es bastante baja):

CONVEX HULL		RECTANGULO MINIMO	
Prob (alea)	Índice	Prob (alea)	Índice
0,11	0,96	0,10	0,94

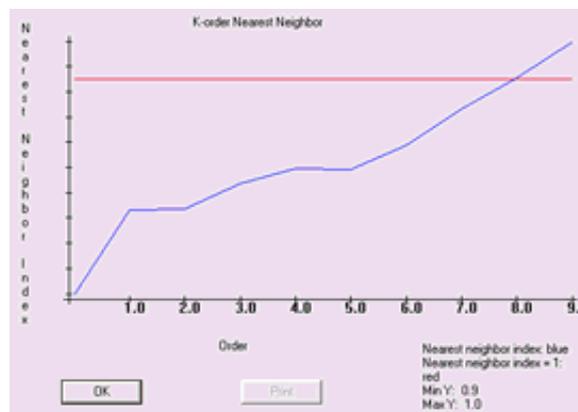


Figura 129: Imagen de la aleatoriedad espacial detectada mediante la función del vecino más próximo. En rojo la función teórica aleatoria, en azul la función de la distribución. Aparentemente, parece que distan mucho entre sí ambas funciones, pero no es así, ya que la amplitud en el eje Y es de solo 0.1, lo que indica la semejanza entre ambas funciones contrastando la aleatoriedad espacial.

Prueba de Multinormalidad (Test de MARDIA):

Aunque la prueba anterior muestra que la distribución es espacialmente aleatoria, es necesario comparar esos resultados con la estimación de la *curtosis espacial* de la distribución observada.

	Valor	P(normal)
Curtosis	-7,5	0

Como era de esperar, la distribución observada no cumple con la condición de multinormalidad y los valores de *curtosis* muestran una tendencia en la distribución a estar bastante deformada (irregularidad).

K de RIPLEY

Los resultados muestran que la distribución es aleatoria y con tendencia a la dispersión. El estudio detallado de la función muestra que el rango en L-valores es muy pequeño (0,2), con lo que es lógica, la presencia de tendencia no aleatorias a distancias pequeñas y con pocos vecinos. Por el contrario, a medida que incrementa (pequeños y constantes) la distancia y el número de vecinos, la propensión a la aleatoriedad es más intensa:

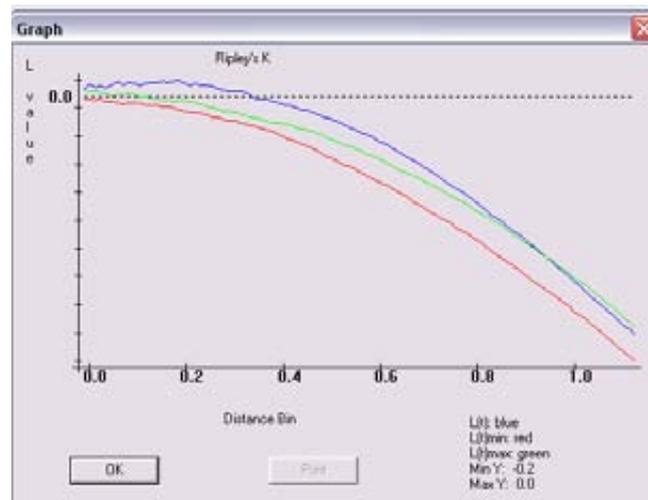


Figura 130: Gráfico de la función K (d) de Ripley para la distribución.

La función Ripley es congruente en la detección de la agregación y la no aleatoriedad en el caso de distancias muy pequeñas. Se trata de un resultado lógico, ya que a

distancias inferiores a 0,3 se pueda detectar tendencia a la concentración (un efecto espacial posible que puede ser causado por un proceso aleatorio). A partir de esa distancia se pasa a una disposición espacial dispersa con clara tendencia a la aleatoriedad.

A continuación, se aplican los estadísticos de Moran (I) y Geary (C). Mediante estos test y la información aportada por correlograma de Moran y el análisis de la semivarianza, se establecerá el *tipo*, la *intensidad* y el *rango* del *patrón espacial* a través del análisis de las frecuencias espaciales.

INDICE DE MORAN (I), INDICE DE GEARY (C) y CORRELOGRAMA:

Los valores obtenidos en los test muestran falta de autocorrelación espacial de la población estudiada (En los cálculos realizados se ha empleado el criterio de adyacencia *Queen's*):

	INDICE (n = 100)	INDICE (n = 1000)
Moran's I	0,06	0
Geary's C	0,88	1

El correlograma de la función de Moran es contundente, ya que la distribución es aleatoria (función color azul, cuasi paralela al 0.0) y con una mínima tendencia a la dispersión (sin apenas relevancia).

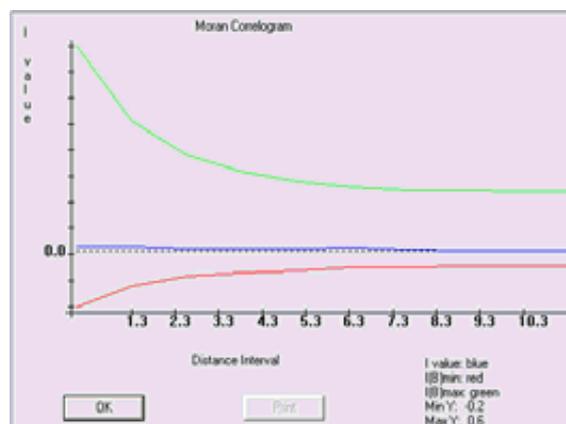


Figura 131: Imagen del Correlograma de la distribución.

SEMIVARIANZA:

La población estudiada cuenta con el 100% de la distribución, con lo que el operador *semivariograma* muestra la relación de cambio entre todos los pares de puntos de la población, basándose en el muestreo completo y no en una parte de dicha población. Si los datos de frecuencia de la población son ubicados en sus posiciones espaciales, se podrán percibir las relaciones existentes entre retículas vecinas. La función semivariograma muestra los siguientes resultados:

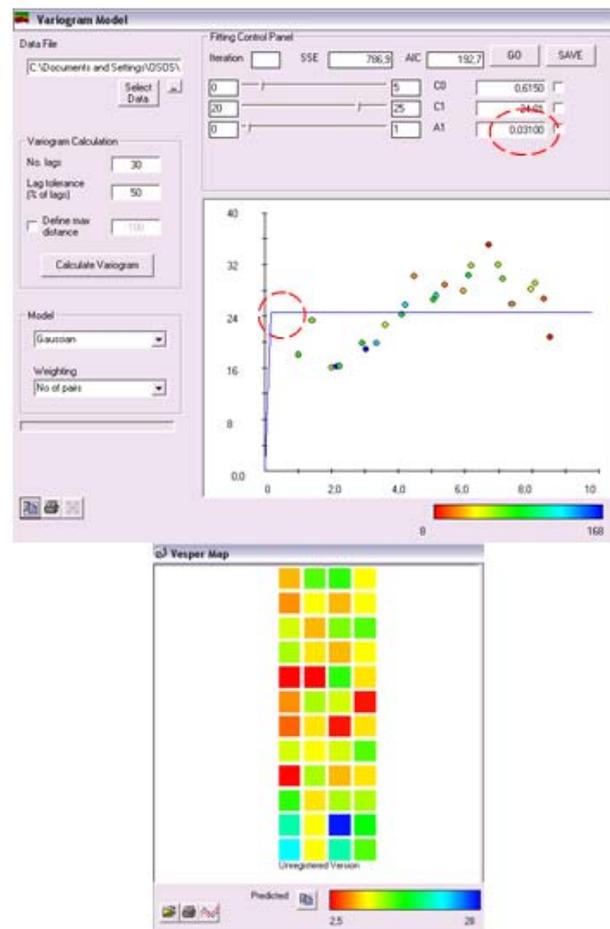


Figura 132: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. Parte inferior, salida gráfica de las retículas con su valor de frecuencia localizadas (tonos fríos mayor valor, tonos cálidos, valores de frecuencia bajos) en el área muestral (el N. está hacia abajo), visualizándose claramente la aleatoriedad en la distribución de los valores.

Los resultados del semivariograma indican:

- i. El modelo teórico, función de color azul, adopta la forma prototípica de una dinámica espacial aleatoria. En este caso, se ha considerado como el mejor ajuste a la nube de puntos, el modelo espacial *gausiano*.
- ii. Según la función, el *umbral*, que es la varianza muestral de la población, adopta un valor elevado (en torno a 24) según la varianza total (35).

- iii. El *rango*, punto en donde el *umbral* alcanza su máximo valor, (muestra la *distancia* a partir de la cual la autocorrelación sería nula) se sitúa en torno a 0 m, evidente, ya que la distribución es aleatoria.
- iv. El *efecto pepita* es mínimo: Un valor en torno a 4 sobre una oscilación de 40, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativa, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

El análisis de *segundo orden* resulta congruente y significativo, ya que tanto los índices estadísticos, como los test gráficos muestran el comportamiento espacial de la distribución: falta de autocorrelación y aleatoriedad espacial.

Los resultados obtenidos demuestran la no relación espacial entre valor y localización de la variable regional *palimpsesto*.

5.3.3. Interpolación espacial y Tasa de cambio espacial

En este caso concreto, la localización de la acción/es se encuentran sesgadas, ya que actualmente, solo se dispone de una pequeña fracción del yacimiento excavado, junto a una serie de catas arqueológicas que sirvieron para delimitar el perímetro del *espacio arqueológico* (fortín) y esto condiciona las posibles propuestas sobre un tipo o más comportamientos espaciales.

La distribución genera la siguiente superficie polinómica:

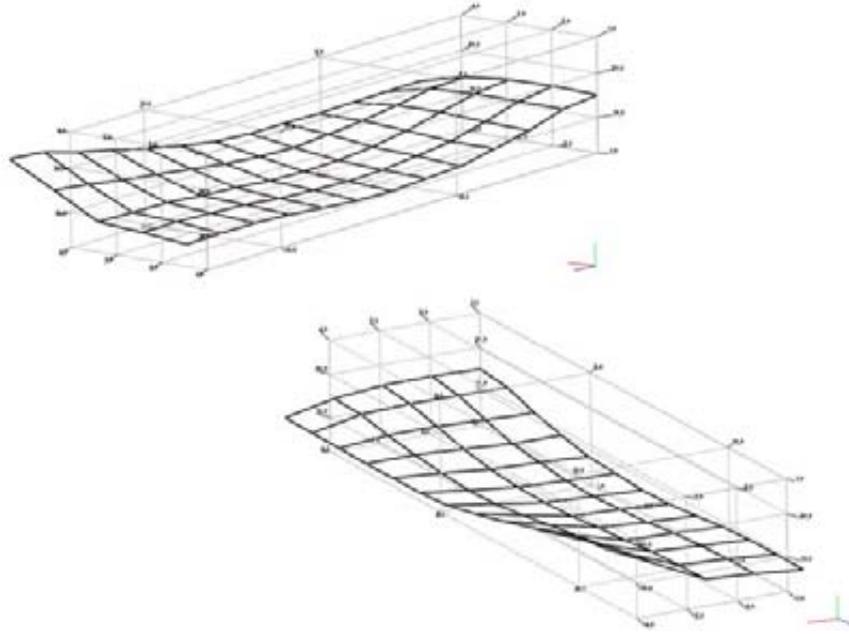


Figura 133: Superficie polinómica vistas desde N.-W. (superior izquierda) y N.-E. (inferior derecha).

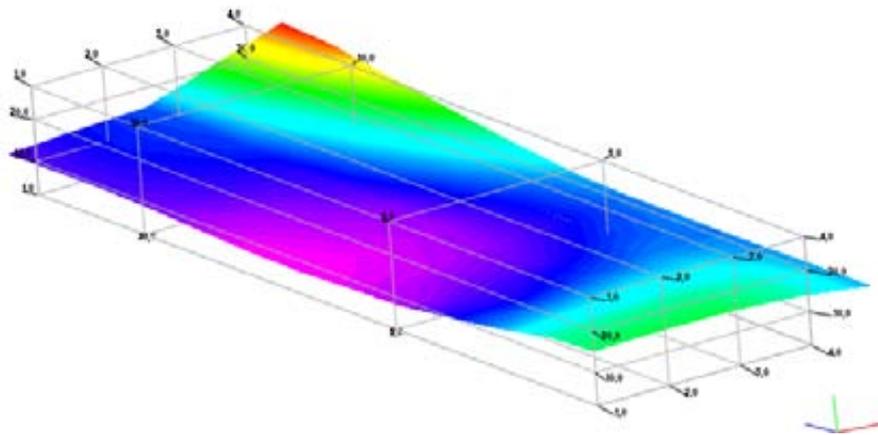


Figura 134: Imagen con trama de color tomada desde S.-W.

La ecuación, que caracteriza a esta superficie, es:

$$f(x) = 3,26 - 0,4x - 0,27 (x-1,03)^2 + 0,91 (x-1,03)^3 - 0,14(x-1,03)^4$$

Según la imagen y su función, existe una tendencia a la distribución de valores con tendencia a la aleatoriedad, aunque exista presencia de restos espacialmente concentrados, los cuales están causados por un proceso espacial azaroso.

A continuación, se visualiza el gradiente espacial de la distribución, mostrando una superficie deformada por la presencia mayoritaria de valores altos en la tasa de cambio espacial:

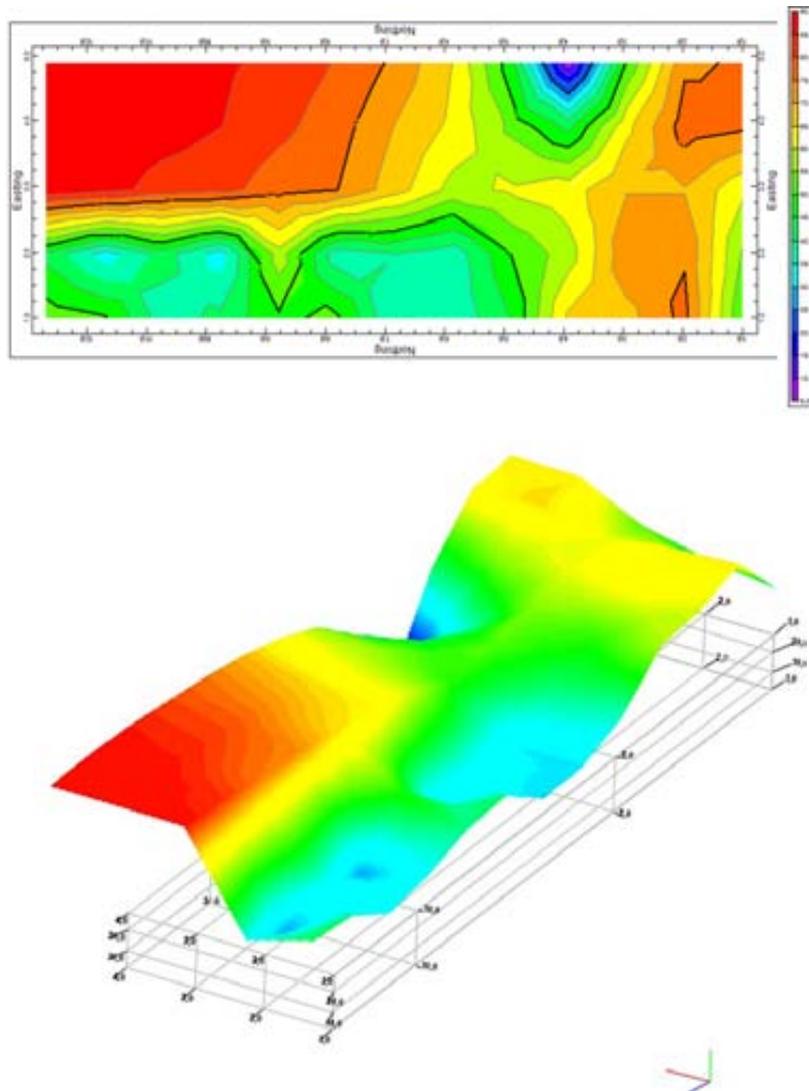


Figura 135: Imagen en 2D y 3D del gradiente desde N.-W., destacan la irregularidad en la distribución de la tasa de cambio espacial por toda el área muestral y el elevado valor porcentual del cambio (tonos fríos parten desde una tasa de cambio superior al 25%).

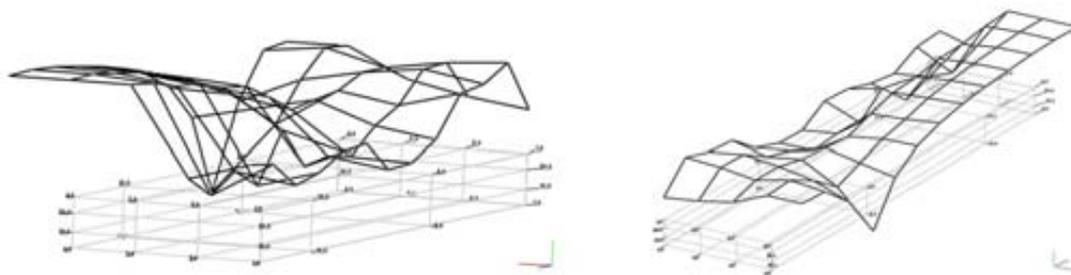


Figura 136: Imagen del gradiente sin trama de color desde, N.-W. a la izquierda, y a la derecha S.-E. para visualizar la irregularidad en la distribución de valores en las retículas (sin seguir ningún patrón espacial).

El gradiente muestra un claro predominio de tasa de cambio espacial elevada, lo que impide la determinación de algún tipo de dinámica espacial. La tendencia general del gradiente muestra unos valores de cambio considerable, siendo ínfimas las localizaciones donde la tasa de cambio sea realmente baja (menor a un 25%).

Puesto que la correspondencia entre frecuencia de valor y localización es una condición necesaria para la determinación de *repulsión/atracción* en el espacio, en el presente caso no se puede establecer dicho vínculo, ya que los valores de frecuencia altos (o bajos) son adyacentes a los valores de frecuencias bajos (o altos), lo que lleva a una indeterminación en la relación. Visualmente, si existiera alguna relación entre localización y valor, se podría apreciar una configuración espacial con tendencia anular. En este caso no es así, ya que los valores contiguos muestran intensidades muy disímiles, lo que provoca la falta de estructuración.

5.3.4. Interpretación de resultados

Los resultados definen un proceso espacialmente aleatorio en el que aparecen tanto presencia de concentraciones como zonas relativamente vacías, causadas todas ellas, por un proceso espacialmente azaroso. Los resultados obtenidos discuten la hipótesis de partida (intencionalidad espacial), aunque es cierto que la determinación de dicho comportamiento espacial pueda ser fruto de las características de la excavación o por cuestiones asociadas al tipo de acción que causó tal distribución y que no han sido consideradas. Esto conduce a la reflexión acerca la distribución de los efectos materiales en función del conjunto de acciones causales.

En relación a lo dicho, se debe tener muy presente las condiciones de abandono del sitio, ya que la guarnición se traslada a otro lugar y el sitio se abandona. Según fuentes escritas, era una práctica común sacar los postes de madera empleados en la construcción de la empalizada del fuerte para ser reutilizados en el siguiente emplazamiento (en Gómez Romero 1999). Según esas condiciones cabe preguntarse: ¿Para qué gestionar determinados restos, a sabiendas de que en breve se marchan de allí? Sólo con el hecho de considerar esta circunstancia, la interpretación sobre la variabilidad espacial puede ser muy diferente. Por otra parte, es posible que tras el

abandono, se produzca sobre el emplazamiento y a lo largo del tiempo, una serie sistemática de “rebuscar entre”.

Se confirma que tanto la presencia de concentraciones como de disgregaciones, no se encuentran espacialmente relacionadas entre sí, pudiendo localizarse aquellas en cualquier lugar del área muestreada.

Parece lógico, que al efectuar el análisis de la variabilidad espacial en base a una categoría tan genérica como *palimpsesto*, el resultado sea el de un comportamiento espacialmente aleatorio. Esto suele pasar cuando se mezclan distintas variables, ya que al agregar diferentes poblaciones, con sus diferentes comportamientos espaciales, la posibilidad más evidente es la tendencia a la aleatoriedad.

Para controlar esto en el análisis de la variabilidad espacial en el yacimiento arqueológico Fortín Otamendi, se han analizado por separado cada una de las categorías materiales (fauna, loza, vidrio, otros) y en ningún caso, las poblaciones se alejan de la condición aleatoria. De este modo, la aleatoriedad espacial documentada es producto de determinadas acciones y no una medida analítica errónea en base a la confusión que pueda causar la agregación de diferentes tipos de variables con diferentes tipos de comportamientos espaciales.

Los resultados obtenidos deben tener muy presente las condiciones del área excavada, ya que *ésta* es una fracción de todo el yacimiento, por lo que existe la posibilidad de que el comportamiento espacialmente aleatorio sea resultado de la parcela analizada, que puede estar condicionando la percepción de determinado fenómeno espacial reconocible a una escala mayor.

En este análisis, se debe tener en cuenta las implicaciones del *efecto borde* inducido por el límite artificial impuesto al área de investigación espacial. De ahí, la limitación en la interpretación de la variabilidad espacial observada. El comportamiento espacialmente azaroso de la distribución no es la respuesta a la problemática espacial de este yacimiento, pero es un punto de partida para contrastar la variabilidad espacial existente a medida que se vaya aumentando el volumen de la excavación y se vayan resolviendo cuestiones particulares acerca del análisis de la materialidad.

La definición de la tendencia espacialmente aleatoria permite diseñar una estrategia de excavación para los siguientes años, en los que se plantea la determinación del

comportamiento espacial dentro del recinto fortificado, variando el método de recolección de datos espaciales. Se implementará (año 2008) un modelo de *campo escalar* donde las frecuencias espaciales se referirán a un tamaño de retícula de 0,5x0,5 metros (pudiendo disminuirse o reconvertir a coordenados, si la variabilidad espacial percibida así lo requiera).

Este cambio en la estrategia de recogida de datos permitirá aumentar significativamente la superficie excavada sin perder calidad sobre la fenomenología registrada, pretendiendo solucionar una serie concreta de problemáticas: la detección de estructuras (barracones), la dinámica tafonómica del sitio y la percepción de conjuntos de localizaciones (subáreas) vinculadas a determinadas actividades sociales.

Capítulo 6

CONSIDERACIONES FINALES

*Aun tengo que ver un problema que,
por complicado que sea, no se haga aun más complicado
cuando se considera de la forma correcta.*

Poul Anderson.

El objetivo principal de esta tesis ha sido establecer un discurso congruente que permita conectar el problema espacial arqueológico (en la escala *intra-site*) con la teoría de medida de la variabilidad espacial desarrollada desde la Geoestadística.

Para alcanzar ese fin, ha sido necesario desplegar una serie de aspectos teóricos antes de realizar la propuesta metodológica de análisis e interpretación sobre los casos arqueológicos.

Afrontar una problemática científica, no es aplicar un conjunto extenso y sofisticado de herramientas analíticas y traducir sus resultados para una interpretación que se ajuste a las necesidades administrativas de un proyecto de investigación. Por ello, para contextualizar el uso de la Geoestadística y definir el problema de la variabilidad espacial en casos arqueológicos, se han formulado una serie de preguntas:

¿Por qué X está en relación con Y?

¿Por qué la dinámica de atracción/repulsión espacial?

¿Por qué localizar acciones en base a la distribución espacial de sus efectos?...

A continuación, se han buscado una serie de respuestas basadas en los principios teóricos del espacio relacional y en los resultados que aporta las técnicas empleadas en la medida de la variación espacial: Geoestadística.

Para ilustrar esta problemática, se han utilizado dos casos concretos:

- i. Análisis de la distribución de poblaciones teóricas, mediante las cuales se han podido controlar aspectos como las causas de la variación (especialmente aleatoria, agregada y uniforme), el número de individuos que componen la población, el grado de distorsión,... Toda esta información previa sirvió para poder evaluar las herramientas analíticas, aprender cómo funcionan cada tipo de distribución bajo condiciones ideales y establecer un discurso que logre interpretar la variación espacial observada.
Los resultados validan la metodología y muestran unos corolarios congruentes, pero al tratarse de casos teóricos, carecen del contexto inherente que proporciona la problemática empírica, es decir, si la población es aleatoria (o de otro tipo) se determina muy bien cómo se encuentra caracterizada ese tipo de distribución, pero no se puede ir más allá de la descripción del proceso, sin poder aportar nada acerca de la causalidad del mismo. Por este motivo, se seleccionó unas poblaciones empíricas donde el problema espacial no sólo reside en establecer el patrón de la distribución, sino en dar respuesta a: *¿Por qué x está aquí?*

- ii. En base a lo aprendido con las poblaciones teóricas, se plantearon los siguientes objetivos: conocer el proceso espacial y las causas, más probables, de dicho proceso. Los casos empíricos seleccionados tienen una variabilidad espacial y una problemática a resolver bastante diferente. El primero (Tunel VII) como proyecto concluido y con un análisis de la materialidad arqueológica completa; el segundo (Fortín Otamendi), un proyecto incipiente que ni tan siquiera ha terminado con todas las fases del trabajo de campo.
Las circunstancias particulares de cada caso, permiten ilustrar aspectos diferentes tanto en la metodología como en los resultados, los cuales han sido más decisivos que lo que en un primer momento se esperaba de ellos.
Lo más destacado de este estudio empírico no ha sido el hecho de poder establecer la caracterización espacial de las distribuciones, sino la capacidad analítico-interpretativo que demuestra el método, gracias a una cuantificación estrictamente rigurosa de la variabilidad espacial observada, permitiendo establecer unas hipótesis explicativas acerca de la misma, que pueden ser refutadas bajo condiciones científicas.

Probablemente, el aporte más significativo de estos resultados, sea la posibilidad de discutir con los especialistas, que actualmente trabajan en estos casos, cuestiones como la implicación que supone para la investigación de estos yacimientos, la medida de la variación espacial aportada.

El principal inconveniente de los estudios realizados es su carácter meramente ilustrativo, es decir, tan sólo se trabaja con un conjunto de variables y una serie de hipótesis de partida, lo que deriva en una interpretación parcial e incompleta del complejo fenómeno espacial, que abarca muchos otros aspectos existentes en el *espacio arqueológico* muestreado. Lo ideal sería desarrollar el análisis espacial con todas las variables e hipótesis de trabajo, propuestas desde las diferentes líneas de investigación (fauna, lítica, micromorfología,...) que existen para ambos yacimientos. Esto permitiría conectar diferentes comportamientos espaciales, lo que posibilitaría un discurso interpretativo completo acerca de las causas de la variabilidad espacial observada.

Según el planteamiento y el desarrollo de la investigación de la variabilidad espacial realizada en esta tesis, se pueden definir una serie de aportaciones a la disciplina arqueológica. De manera sintética, se considera que la contribución realizada es la siguiente:

1. Una nueva forma de concebir y entender el concepto espacio en Arqueología, frente al modelo tradicional de contenedor *estático* donde se albergan los efectos materiales de acciones, donde cada localización se explica por sí misma. La perspectiva relacional otorga al espacio una *dinámica* por la cual los efectos materiales de las acciones se encuentran localizados en base a la interacción de restos, acciones y circunstancias estructurales (sociales y físicas), cuyo resultado es un "*complejo paisaje*" en el que cada localización se explica en términos de las demás.
2. Una nueva manera de interpretar el problema espacial (consecuencia del punto anterior). La solución del problema espacial no pasa por definir la localización de la acción en base a unos restos que presumiblemente se asocian a ella. Bajo estas nuevas circunstancias, deja de tener sentido el término *área de actividad*, la cual se basa en que una determinada colección

de restos se encuentren más o menos agrupados (cluster) sobre un área definida. Frente al modelo analógico y estático del *área de actividad*, se plantea la alternativa de buscar localizaciones en el espacio “que atraen o repelen acciones” y no construir un discurso espacial, sustentado en la localización de los efectos materiales potencialmente vinculados a unas determinadas acciones. Por consiguiente, no se trata de buscar *cómo* están distribuidos los restos, sino *qué* tipo de acciones han ubicado a esos restos materiales sobre estas y no otras localizaciones, bajo un determinado tipo de comportamiento espacial (aleatorio, agregado, uniforme, exponencial,...).

3. Nuevas propuestas sobre el modo de intervenir en el área de excavación. Se cuestiona el modelo de intervención arqueológica preocupado por recuperar el objeto particular (modelo orientado *al objeto*) y se intenta buscar fórmulas que permitan registrar de una manera sencilla y directa la tendencia espacial (modelo orientado *a campo*) que define a las múltiples poblaciones, sin menoscabar la información material que pueden llegar a aportar los diferentes restos de naturaleza variada existentes en un yacimiento. Se es consciente que adoptar un modelo de *orientación a campo* implica modificar el modo de intervenir en el proceso de excavación. Básicamente, las estrategias de recogida de datos deben estar monitorizadas mediante herramientas que permitan visualizar, en tiempo real, los resultados analíticos que puedan aportar los datos recolectados: un primer análisis de la variabilidad espacial mediante el cual se pueda redefinir las estrategias de trabajo más óptimas para los objetivos de la investigación.

Actualmente, existe tecnología y medios para llevar a cabo esta pequeña innovación en arqueología, no sólo aprendiendo de otras ciencias que ya trabajan en este campo, sino introduciendo elementos de reflexión (como los contenidos en algunos trabajos arqueológicos en esta línea, y otros aportados desde esta tesis) que permiten poner en marcha esta nueva perspectiva.

La metodología propuesta resulta ser lo suficientemente flexible a la hora de trabajar tanto con datos coordinados, como con datos de frecuencia. No cabe duda que existen limitaciones y problemáticas inherentes a la hora de trabajar con un tipo u otro de datos. Sin embargo, el problema no radica en el formato de los datos, ya que sus distorsiones pueden ser controladas. El principal escollo se encuentra en la atribución de la acción causal sobre los

restos espacialmente distribuidos. En esencia, esto no es un problema espacial, ya que las muestras seleccionadas para estudiar la variabilidad espacial (a grosso modo, extensas colecciones de datos georreferenciados) suelen estar sujetas al sesgo de otros especialistas que han establecido una agrupación en base a un determinado criterio de selección. Ahora bien, ¿Espacialmente es congruente esta selección? En principio se estima que sí, aunque en ocasiones la distorsión que alberga estas muestras es tan grave, que la interpretación de la variabilidad espacial está deformada.

La solución a esta circunstancia inherente a la aplicación del análisis de la variabilidad espacial desde la Geoestadística pasa por la coherencia a la hora de definir la acción de la distribución y el tipo de problema espacial a resolver. Es necesario, que converjan los distintos especialistas de la materialidad, junto a los de la espacialidad, a la hora de proponer tanto las problemáticas como las hipótesis de trabajo sobre la/s distribución/es objeto de investigación.

4. Esta tesis aporta nuevas técnicas en el análisis espacial a escala intra-site. Por ejemplo, destaca el uso de la K de Ripley y el Semivariograma a esta escala, ya que la implementación de estas herramientas aun es escasa y sobretodo, ha sido utilizada en casos de variabilidad espacial a una escala mayor (territorial). Todo el protocolo analítico desarrollado deriva en el estudio del tipo de relación existente entre el gradiente espacial y la superficie polinómica de la distribución. De este modo, se alcanza una respuesta válida al problema espacial planteado (basado en la hipótesis interpretativa de atracción/repulsión espacial).

La implicación más importante se centra en que el análisis de la *primera derivada de la función de distribución*, puede ser una vía óptima en la solución de determinados problemas espaciales.

A nivel de pensamiento arqueológico, un discurso interpretativo de la variabilidad espacial observada en términos de localización de acciones y no en base a la ubicación de determinados restos materiales, posibilita la solución de algunas cuestiones. Así que, si existe la certeza de que un determinado espacio (doméstico, ritual, coerción,...) se caracteriza por la repulsión o atracción de una serie determinadas acciones y si somos capaces

de reconocer dichas acciones en base a la fracción de los efectos materiales de las mismas existente en el registro arqueológico, entonces, se podrá interpretar el espacio en base a la dinámica espacial de sus acciones: la recurrencia de la localización en unos emplazamientos y su sistemática repulsión a otros.

Según el planteamiento y el desarrollo de la investigación de la variabilidad espacial realizada en esta tesis, se reconoce la no aportación de este trabajo sobre temas referidos a:

1. No desarrolla ningún tipo de contribución propia al marco ontológico y epistemológico de la variabilidad espacial en Arqueología. Esto se debe a la adopción de presupuestos procedentes de la teoría del espacio como relación, y a la selección de técnicas de investigación desarrolladas en otros ámbitos científicos (geoestadística). Tampoco, elabora ningún tipo de crítica sobre las propuestas vigentes en torno a la interpretación y al análisis espacial *intra-site*, puesto que el vaciado bibliográfico realizado sobre el estado de la cuestión pretendía comprobar, únicamente, que la metodología de análisis desarrollada en esta tesis no había sido implementada. Al contrastar dicha realidad, no se consideró oportuno dedicar un capítulo acerca del estado de la cuestión, ya que no era un objetivo necesario para el desarrollo de la tesis. Por otra parte, se parte de la premisa por la cual cada investigador será el encargado de atribuir el valor que considere adecuado, desde su perspectiva gnoseológica, al objeto arqueológico investigado, tarea que no compete al trabajo analítico-interpretativo de la variación espacial.
2. Esta metodología no genera por sí misma preguntas, soluciones, ni interpretaciones que estén más allá del ámbito espacial, sólo aporta una determinada información sobre los problemas espaciales que el investigador (especializado en el tema o la materialidad concreta) le formule, siendo éste el encargado de realizar las interpretaciones sociales pertinentes.

El punto de partida son los problemas espaciales propuestos desde la investigación arqueológica, nunca desde las propias consideraciones espaciales. De este modo, se establecerá un conjunto de soluciones desde el análisis y la interpretación de la variabilidad espacial objeto de estudio. Si la investigación arqueológica propusiera, por ejemplo, resolver *cómo* es la

dinámica espacial de determinadas acciones que se vinculan al género. Esta metodología precisará de las muestras analíticas (listados de localizaciones) que según el investigador entienda como “acciones vinculables al género”. Tras el análisis de las mismas, se emitirían unos resultados en términos estrictamente espaciales, los cuales deben ser interpretados por parte del investigador especialista en el tema, que es el encargado de argumentar la existencia de unos emplazamientos determinados para acciones relacionadas con el género.

3. Esta tesis aporta pocos modelos teóricos-interpretativos (Poisson, normal divariada y uniforme) sobre la amplia variabilidad espacial existente. La literatura de análisis espacial (por ejemplo en el ámbito de las ciencias naturales) cuenta con muchas más distribuciones teóricas que las expuestas. Esto permitiría reconocer más comportamientos espaciales en casos de variabilidad espacial arqueológica. Aunque la presencia de más modelos teóricos de distribución espacial enriquecería los contenidos de esta tesis, también podría inducir a error, ya que de momento, no se conoce el correlato (si lo hay) entre todas las distribuciones teóricas y las empíricas en casos arqueológicos.
4. Por último, se reconoce una carencia temática en tanto al escaso desarrollo teórico y a la nula aplicación analítica, vinculada a aspectos del análisis multidimensional. La justificación de esta carencia se basa, fundamentalmente, en la complejidad de encontrar casos empíricos que se ajustaran a los requisitos, que supone enunciar un problema multivariante a escala intra-site desde los principios defendidos en esta tesis. Aunque esto no es una excusa contundente, se supone que la continuación de esta línea de investigación pasa, obligatoriamente, por tratar el problema multivariante a través de la experiencia atesorada en este trabajo, no sólo desde la teoría sino con una serie de aplicaciones teóricas y empíricas.

Según las aportaciones y las carencias de esta tesis, se esboza el futuro de la línea de investigación en la que se integra este trabajo como una nueva vía en el modo de pensar la problemática arqueológica y el contexto de solución espacial de la misma. Esta tesis es un trabajo abierto, puede ser un comienzo, ya que abre las puertas a nuevas formas de pensar y entender el análisis de la variabilidad espacial en casos arqueológicos, debido a

la amplia gama de posibilidades y potencialidades que aporta la aplicabilidad de estos instrumentos, contrastados ya en otras disciplinas. Por ello, sería interesante poder seguir desarrollando tanto los casos ilustrativos del capítulo 5⁽⁵⁶⁾, como trabajar con otras problemáticas diferentes.

Esto permitiría evaluar, de manera más concienzuda, el protocolo analítico propuesto, dando lugar a una optimización de la utilización de las herramientas analíticas en base a la experiencia acumulada.

Otro aspecto importante a desarrollar, sería la implementación de una serie de soluciones que permitieran obtener análisis básicos sobre la variabilidad espacial, conforme se van documentando los datos en el proceso de excavación (análisis en tiempo real). Esto permitiría mejorar las estrategias del trabajo de campo y tener un contexto de información espacial preciso para poder desarrollar, a posteriori, un análisis de la variabilidad espacial completo (toda la materialidad interpretada desde sus diferentes especialidades).

A modo de cierre del último capítulo y de la tesis, se reivindica la naturaleza metodológica de este trabajo, centrado en mejorar cuestiones relacionadas con el *cómo* investigar una determinada fenomenología.

La propuesta de análisis e interpretación de la variabilidad espacial, ha permitido no sólo determinar la presencia del cambio, sino lo que es más importante: cuantificar y visualizar dicho cambio.

También, se han podido establecer unos criterios de visualización que están más allá de la mera descripción. Al observar el gradiente espacial (primera derivada de la función de distribución), se está percibiendo la manera y la intensidad en la que una determinada distribución varía en una región concreta del espacio.

Al establecer cómo es la variación espacial de una distribución, no sólo se reconoce su organización en el espacio, además, se pueden establecer los límites de la misma en función a la acción que causó la distribución en tanto a su recurrencia o preferencia por unas localidades frente a otras.

⁵⁶ Discutir las implicaciones de los resultados obtenidos con los investigadores de los diferentes proyectos ha permitido en el caso del fortín Otamendi cambiar la metodología de trabajo y plantear nuevas hipótesis acerca de las causas de la variabilidad espacial documentada en las áreas excavadas. En el caso de Túnel VII, los resultados permiten trabajar sobre el resto de categorías relacionadas con acciones sociales y su emplazamiento, desarrollando el análisis espacial multivariante desde categorías sociales.

Este método pone de manifiesto relaciones espaciales reales y va más allá de la visualización, más o menos elegante, sobre relaciones *espacialmente aparentes*.

La apariencia en el análisis espacial es un serio problema, ya que en ocasiones tenemos la tendencia a creer que la presencia de concentraciones de restos nos está indicando el emplazamiento de las acciones que las causaron (aquí hay colillas, aquí han fumado), reconstruyendo sin ningún rigor científico la dinámica social de ese espacio geográfico del pasado (*espacio arqueológico*). Por el contrario, entender que una acción, y no sus consecuencias, puede realizarse en unas localizaciones específicas y no en otras, sí puede ayudar a la hora de estudiar las relaciones espaciales que existieron en el *espacio arqueológico*, alcanzando una mapificación, probable, de *donde* se realizaban las acciones.

Finalmente, no se debe olvidar que este método, como cualquier otro, no zanja el problema espacial de la variación en un caso arqueológico concreto. Debe ser el investigador, quién con sus preguntas, el análisis de la materialidad y sus hipótesis acerca del cambio espacial percibido, tiene que definir los problemas espaciales a resolver desde esta metodología, evaluando sus resultados mediante la validación o el descarte de la interpretación de la dinámica espacial establecida a través de un conjunto determinado de técnicas.

ANEXOS

ANEXO BIBLIOGRÁFICO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ANEXO DE SOFTWARE APLICADO

ANEXO BIBLIOGRÁFICO

ABLER, R., ADAMS, J. S. & GOULD, P. (1977) *Spatial Organization: the Geographer's View of the World*. Prentice Hall. London.

AGORSAH, E. (1988): *Evaluating Spatial Behaviour Patterns of Prehistoric Societies*. *Journal of Anthropological Archaeology*, 7

AGUAYO DE HOYOS, P. (1997) "Análisis territorial de la ocupación humana en la Depresión de Ronda durante la Prehistoria Reciente". En Martín Ruiz, J.M.; Sánchez Bandera, P.J. (Eds.): *Arqueología a la carta. Relaciones entre teoría y método en la práctica arqueológica*. EDT. CEDMA.

ALEXANDER, M. & DANOWSKI, J. (1990). *Analysis of an ancient network*. *Social Networks*. Vol. 12

ALLEN, K. M. S., GREEN, S. W. (Eds.) (1990) *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. New York, Taylor and Francis.

ALTHUSSER, L. & BALIBAR, E. (1998) *Para Leer El Capital*. Siglo Veintiuno. Madrid.

ALUJA, T. & MORINEAU, A. (1999) *Aprender de los datos: el analisis de componentes principales, una aproximacion desde el data mining*. EUB. Barcelona.

ALDENDERFER, M. (1992) *The State of GIS and Anthropological Research*. *Anthropological Newsletter*, N° 3

ALDENDERFER, M. & MASCHNER, H.D.G. (1996) *Anthropology, Space, and Geographic Information Systems*. *Spatial Information Series*, Oxford University Press, New York.

ALDENDERFER, M. & CRAIG, N. (2002) "A GIS-based in-field data recording system for archaeological excavation." *13th Annual Workshops in Archaeometry*, University at Buffalo.

ALDENDERFER, M. (en prensa) "Scientific visualization, archaeology, and geovisualization." In Future Directions in GIS. Edited by S. Branting. Archaeopress, Oxford.

ARANA, J. (2001) *Materia, universo, vida*. Tecnos. Madrid.

ARMSTRONG, M. & CARIGNAN, J. (1997) *Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier*. École de Mines de Paris.

ATKINSON, P. (2002) Surface modelling: What's the point? *Transactions in GIS*, 6.

AUÑÓN, J. & GÓMEZ-HERNANDEZ, J. (2000) Dual Kriging with Local Neighborhood Application to the Representation of Surfaces. *Math. Geology*. Vol. 32

AZZALINI, A (1996) *Statistical inference: Based on the likelihood* Chapman & Hall, 1996 London.

BAILEY, T.C. & GATTRELL, A.C. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman Scientific and Technical. New York.

BAENA PREYSLER, J. (1997) Los. S.I.G. y el análisis espacial en arqueología. (Eds) Javier Baena Preysler, Concepción Blasco Bosqued, Fernando Quesada Sanz Ediciones de la Universidad Autónoma

BAMFORTH, D. B. et al (2005) "Intrasite spatial analysis, ethnoarchaeology, and paleoindian land-use on the great plains: The Allen site. *American Antiquity*. Vol. 70, 3

BANCHOFF, T. F. & GIBLIN P.J. (1987) Global theorems for symmetry sets of smooth curves and polygons in the plane. *Proc. Royal Soc. Edinburgh*.

BARABASI, A. L. (2002) *Linked: The New Science of Networks*. Perseus. Cambridge.

BARCELO, J.A. & PALLARES, M. (1996) A critique of GIS in Archaeology. From Visual seduction to Spatial Analysis *Archeologia e Calcolatori* No. 6, 1996

BARCELO, (1997) ¿Podemos definir arqueológicamente las formas de Interacción social? Conflictos entre Teoría y Métodos. En *Arqueología a la Carta. Relaciones entre Teoría y Método en la Práctica Arqueológica*. Compilado por J.M. Martín et al. Publicaciones de la Diputación de Málaga. 1997

BARCELO, J.A. & PALLARES, M. (1998) "Beyond GIS. The Archaeological study of social spaces." *Archeologia e Calcolatori* No. 9, 1998

BARCELO, J.A., PIANA, J.A. & MARTINIONI, D. (2002) "Archaeological Spatial Modelling. A case Study from Beagle Channel (Argentina)." *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope*. Edited by G. Burenhult. ArchoPress. Oxford.

BARCELO, J.A. (2002) "Archaeological Thinking: between space and time" *Archeologia e Calcolatori* Num. 13

BARCELO, J.A., MAXIMIANO, A. & VICENTE, O. (2004) "La Multidimensionalidad del Espacio Arqueológico: Teoría, Matemáticas, Visualización". Comunicación presentada en las Jornadas de Arqueología del Paisaje y aplicaciones de los SIG. Universidad de Alicante

BARCELO, J. A. (2005) "Multidimensional Spatial Analysis in Archaeology. Beyond the GIS Paradigm." Paper presented at The GIS Symposium "Reading the Historical Spatial Information in the World" -Studies for Human Cultures and Civilizations based on Geographic Information System- held in Kyoto.

BARCELO, J. A., MAXIMIANO, A (2006) "The Mathematics of domestic spaces." *Paper presented at the Archaeology of the Household Workshop*. Barcelona, April 2006

BARCELO, J.A. & MAXIMIANO, A. (2007) "Some Notes Regarding Distributional Analysis of Spatial Frequencies" paper presented at the Computer Applications in Archaeology Conference (CAA-2007). Berlin.

BATE, L. (1993) "Del registro estático al pasado dinámico: entre un salto mortal y un milagro dialéctico." *Arqueología Espacial*, 18. Teruel.

BAXTER, M. J. & BEARDAH, C. C. (1995b) "Beyond the Histogram Archaeological Applications of Kernel Density Stimation". Research Report 6/95, Nottingham Trent University Departamento f Mathematics, Stadistics and Operational Research, Nottingham Trent University, Nottingham.

BAXTER, M.J. & BEARDAH, C.C. (1996) "Beyond the histogram. Improved approaches to simple data display in archaeology using kernel density estimates." Archeologia e Calcolatori. Vol. 7

BAXTER, M. J.; BEARDAH, C. C. & WRIGHT, R.V.S. (1997) "Some archaeological applications of Kernel Density Estimates" Journal of Archaeological Science. Vol. 24; 3

BEARDAH, C. C. & BAXTER, M. J. (1995) "MATLAB Routies for Kernel Density Estimation and the Graphical Representation of Archaeological Data" Research Report 2/95, Nottingham Trent University Departamento f Mathematics, Stadistics and Operational Research, Nottingham Trent University, Nottingham.

BEDNY, G. Z. & MEISTER, D. (1997). "The Russian Theory of Activity: Current Applications to Design and Learning.". Lawrence Erlbarm Associates. Inc

BEGUIN, H. & THISSE J.F. (1979). "An axiomatic approach to geographical space". Geographical Analysis. Vol. 11, n° 4.

BESAG, J. (1977) "Some methods of statistical analysis for spatial data". Bulletin of the International Statistical Institute. 47

BEVAN, A. & CONOLLY, J. (2006) "Multi-scalar Approaches to Settlement Pattern Analysis" In Lock, G. and Molyneaux B. (eds.) *Confronting Scale in Archaeology: Issues of Theory and Practice*. Springer. New York.

BINFORD, L. & J. B. BERTRAM (1977) "Bone frecuencies-and attritional process." In For Theory Building in Archaeology. (Ed.) L. R. Binford. Academic Press, New York.

BINFORD, L. (1981) *Bones: Ancient Men and Modern Myths*. Academic Press, New York.

BINFORD, L. (1988) *En busca del pasado*. Ed. Crítica.

BLANKHOLM, H.P (1991) Intrasite spatial analysis in theory and practice. Aarhus. University Press, Denmark.

BOOTS, BARRY N. & GETIS, A. (1988) Point pattern analysis. Scientific Geography Series No. 8. Sage Publications.

BOURDIEU, P. (1990) The Logic of practice. Polity Press. Cambridge.

BOURDIEU, P. (1993) The Field of cultural production : Essays on art and literature. Columbia University Press. New York.

BOWMAN, A. W. & AZZALINI, A. (1997) Applied Smoothing Techniques for Data Analysis. Oxford University Press. Oxford

BROWN, C.T. (2001) The fractal dimensions of lithic reduction. *Journal of Archaeological Science* 28.

BROWN, E. F.(1990): "Comment on Chapman: some cautionary notes on the applications of spatial measures to prehistoric settlements." In *The Social Archaeology of Houses*. (Ed) Ross Samson. Edinburgh University Press.

BURROUG P. A. (1983) Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. CLARENDON PRESS.

CARANDINI, A (1997): *Historias en la Tierra. Manual de excavación arqueológica*. Ed. Crítica.

CARR, C. (ed.) (1985) *For concordance in archaeological analysis*. Westport Publishers.

CASTRO, P. V, LULL, V. & MICO, R. (1993) "Arqueología algo más que Tafonomía." *Arqueología Espacial* 16-17. Teruel.

CHAUVET, P., (1994) *Aide-Memoire de Géostatistique Minière*. École des mines de Paris, France

CHILÈS, J. P. & DELFINER, P. (1999) Geostatistics. Modelling Spatial Uncertainty John Wiley. New York.

CLARK, P. J. & EVANS, F. C. (1954) "Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationship in populations." Ecology, 34

CLARK, P. J. (1956) "Grouping of spatial distributions." Science, 123

CLARKE, D. L. (1968) Analytical archaeology. Methuen. London.

CLARKE, D. L. (1977) Spatial archaeology. Academic Press. London.

CLARKE, D.L. (Ed)(1977): Spatial Archaeology. Cambridge University Press Cambridge.

CLARK, I. (1979) Practical Geostatistics, Applied Science Publishers.

CLIFF, A. D. & ORD, J. K. (1981). Spatial processes: Models and applications. Pion Ltd., London.

CONTRERAS CORTÉS, F. MOLINA, F. RODRÍGUEZ, O. ESQUIVEL, J.A. (1991) "Una aplicación de análisis de correspondencias al estudio del espacio en el Fortín de Los Millares" Aplicaciones informáticas en arqueología : teorías y sistemas : Jornadas de trabajo del II Coloquio Internacional de Arqueología e informática. Coord. I. Pujana, L Valdés, I. Arenal, (Publicado en 1995)

CRAIG, N. (2000) "Real-Time GIS Construction and Digital Data Recording of the Jiskairumoko Excavation, Peru" In The Society for American Archaeology Bulletin, Vol.18, 1

CRAIG, N., ALDENDERFER, M., & MOYES, H. (2004) "Rapid Piece Plotting of Small Artifact Distributions in Domestic and Ritual Activity Areas Using GIS." Paper presented at the Society for American Archaeology 69th Annual Meetings. Montreal, Canada.

CRAIG, N., ALDENDERFER, M., & MOYES, H. (2006) "Multivariate visualization and analysis of photomapped artifact scatters" Journal of Archaeological Science. Vol. 33, 11

CRAIG, N. & ALDENDERFER, M. (en prensa) "Future directions in the recording of archaeological excavations using GIS." In *Future Directions in GIS*. Edited by Scott Branting, Archaeopress, Oxford.

CRIADO BOADO, F: (1989) "Megalitos, espacio y pensamiento." *Trabajos de Prehistoria*, 46. Madrid.

CRIADO BOADO, F: (1991) "Tiempos megalíticos y espacios modernos." *Historia y Crítica*. 1. Santiago de Compostela.

CONOLLY, J. & MARK L. (2006) *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press. Cambridge.

COX, D. R. & SMALL N. J. H. (1978). "Testing multivariate normality". *Biometrika* 65, 2

CRESSIE, N. (1985) Fitting variogram models by weighted least squares. *Mathematical Geology* 17

CRESSIE, N. (1986) "Kriging non Stationary Data" *JASA*, 81

CRESSIE, N. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Wiley-Interscience, New York.

CURRAN, P. J., WEST, S. G, & FINCH, J. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1

D'ANDREA, A., PIPERNO, M. & GALLOTTI, R. (2000) "Applicazione di un GIS intra-site al giacimento paleolitico di Garba IV - Melka Kunture (Etiopia)." *Archeologia e Calcolatori*. Vol. 11

D'ANDREA, A. (2004) "L'entropia dell'archeologia computazionale ovvero dall'ordine al disordine." *Archeologia e Calcolatori*. Vol. 15

DACEY, M. F. (1960) "The spacing of river towns." *Annals of the Association of American Geographers*, 50.

DACEY, M. F. (1963) "Order neighbour statistics for a class of random patterns in multidimensional space." *Annals Association of American Geographers*, 53

DAVID, M. (1978) *Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Elsevier Publishing.

DE LA CRUZ ROT, M. (2006) "Introducción al análisis de datos mapeados o algunas de las (muchas) cosas que puedo hacer si tengo coordenadas." Revista Ecosistema. Año XV. N° 3

DEUTSCH, C. V. & JOURNAL, A. G. (1992) GSLIB. Geostatistical software library and user's guide. Oxford Univ. Press, Oxford.

DIBBLE, H. L. et al (1997) "Testing the reality of a living floor with archaeological data". American Antiquity, 64 (4)

DIGGLE, P. J. (2003). Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Academic Press: New York.

DJINDJIAN, F. (1999) "L'analyse spatiale de l'habitat." Archeologia e Calcolatori. Vol. 10

DIXON, P. M. (2002a) Nearest neighbor methods. En: The encyclopedia of environmetrics. El-Shaarawi A.H. y Pier-gorsch W.W. (eds.) Wiley, New York.

DIXON, P. M. (2002b) "Ripley's K function. En: The encyclopedia of environmetrics." El-Shaarawi A.H. y Piergorsch W.W. (eds.) Wiley, New York.

DORAN, J. E. & HODSON, F.R., (1975), Mathematics and Computers in Archaeology. Edinburgh University Press, Edinburgh.

DUNCAN, R.P. & STEWAR, G.H. (1991) "The temporal and spatial analysis of tree age distributions." Can. J. Forest Res., 21

DURAND, S. R. & PIPPIN, L.C.(1992) "A pragmatic application of the nearest neighbor statistic." Journal of Field Archaeology, 19

EARLE, T. K. (1976) "A nearest neighbor analysis of two Formative settlement systems." In The early Mesoamerican village, edited by K.V. Flannery Academic Press. New York.

EBDON, D. (1976) "On the underestimation inherent in the commonly used formulae." Area. Vol. 8.

EBERT, J.I. (1992) Distributional archaeology. University of New Mexico Press. edited by M. J. Leaf. Van Nostrand. New York.

EELLS, E. (1991) Probabilistic causality. Cambridge University Press, Cambridge.

EMERY, X. (2000) Geoestadística Lineal. Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile. Santiago de Chile.

EMIRBAYER, M. & GOODWIN, J. (1994). "Network analysis, culture, and the problems of agency." *American Journal of Sociology*. Vol. 99

ESQUIVEL GUERRERO, J.A. et al (1991) "Una aplicación de la Teoría de la Información al análisis de datos definidos mediante variables cualitativas multi-estado: medidas de similaridad y análisis cluster" *Complutum* 1. Madrid.

ESQUIVEL, J.A. (2004) "Arqueología e Informática: Métodos y Aplicaciones." En García Porras, A. (ed.), *Informática y Arqueología Medieval*.

ESTÉVEZ, J. (1996) "El aprovechamiento de mamíferos y aves en Túnel VII". En *Arqueología sólo Patagonia*, (ponencias de las Segundas Jornadas de Arqueología de Patagonia), (1993), Puerto Madryn.

FERNANDEZ MARTÍNEZ, V. M. (1985) "Las técnicas de muestreo en prospección arqueológica." *Ricus* IX, 3

FERRANDO PIERA, P.J. (1993). *Introducción al análisis factorial*. PPU. Barcelona.

FISCHER, M. M. & GETIS, A. (1997): *Recent Developments in Spatial Analysis* Springer. Berlin.

FISHWICK, P. A. (1995) *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*. Prentice Hall

FORTIN, M. & DALE, M. (2005) *Spatial analysis: a Guide for ecologists*, Cambridge University Press.

FOTHERINGHAM A. S, BRUNSDON, C. & CHARLTON, M. (2000) *Quantitative Geography*. Sage, London.

FOTHERINGHAM A. S, BRUNSDON C. & CHARLTON, M. (2004). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. J Wiley & Sons, Inc. New York.

FRANCOIS, O., ANCELET, S. & GUILLOT, G. (2006). "Bayesian clustering using hidden markov random fields in spatial population genetics." *Genetics*. Vol. 3

GALLARDO, A. (2006) *Geoestadística*, Revista Ecosistema. Año XV, 3.

GARCÍA SANJUÁN, L. & WHEATLEY, D. W. (Eds.) (2002) Mapping the Future of the Past. Managing the Spatial Dimension of the European Archaeological Resource. Sevilla. Universidad de Sevilla, Universidad de Southampton e Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

GARCÍA SANJUÁN, L. & WHEATLEY, D.W. (1999): "The state of the arc: differential rates of adoption of GIS for European Heritage Management." *European Journal of Archaeology* 2 (2). London. European Association of Archaeologists.

GARCÍA, J. L. (1976): *Antropología del territorio*. Taller Ediciones. J.B. Madrid.

GATRELL, A.C. (1983) *Distance and space: A geographical perspective*, Clarendon Press, Oxford.

GAY J.C. (1995) "La discontinuité spatiale." *American Antiquity*, 46

GODELIER, M. (1990): *Lo ideal y lo material*. Ed. Taurus Humanidades.

GÓMEZ ROMERO, F. (1995) "El caballo en la Frontera del Sud (1855-1875)." *Historical Archaeology in Latin America*. The University of South Carolina.

GÓMEZ ROMERO, F. (1999) *Sobre lo arado: El pasado: Arqueología histórica en los alrededores del fortín Miñana (1860-1869)*. Biblos. Azul.

GÓMEZ ROMERO, F. (2007) *Sistemas de relaciones sociales en la Frontera Sur de Buenos Aires: Yacimientos fortín Miñana (1860-1863) y fortín Otamendi (1858-1869)*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

GOOVAERTS, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York, USA.

GREIGSMITH, P. (1964) *Quantitative plant ecology*. Methuen. London.

GRIFFITH D. A. (1992) "A spatially adjusted N- way ANOVA model" *Regional Science and Urban Economics* 22

GRIFFITH, D. A. & AMRHEIN, C. (1997) *Multivariate Statistical Analysis for Geographers*. Prentice Hall. New Jersey.

GUNST, R.F. & HARTFIELD, M.I. (1997) "Robust Semivariogram Estimation in the Presence of Influential Spatial Data Values." In Gregoire G. et al. (eds.): Modeling Longitudinal and Spatially Correlated Data. Methods, Applications and Future Directions. Lecture Notes in Statistics, 122, Springer-Verlag. Berlin.

GUSTAFSON, E. J. (1998) "Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art?" Ecosystems. Vol. 1

HAGGETT, P. (1965) Locational analysis in human geography. E. Arnold. London.

HAINING, R. (1990). Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences. Cambridge University Press. Cambridge.

HAINING, R. (2003). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge University Press. Cambridge.

HALMOS, P. R. (1950) Measure theory. Van Nostrand. Princeton.

HAMMER, O. & HARPER, D. (2006) Paleontological data analysis. Blackwell Publishing. Oxford.

HANSEN, R.M. & REMMENGA, E. E. (1961) "Nearest neighbor concept applied to pocket gopher populations." Ecology 42

HARDY-SMITH, T. & EDWARDS, P. C. (2004) "The Garbage Crisis in prehistory: artefact discard patterns at the Early Natufian site of Wadi Hammeh 27 and the origins of household refuse disposal strategies." Journal of Anthropological Archaeology. 23, 3

HARNECKER, M. (1976) Los Conceptos elementales del materialismo histórico. Siglo XXI. Madrid.

HARRIS, E.C. (1991) Principios de estratigrafía arqueológica. Crítica. Barcelona.

HARVEY, D. (1971) Explanation in Geography. Edward Arnold. London.

HARVEY, D. (1976) Geografía y teoría revolucionaria. J. P. Teixidó (trad.) Edics de la Universidad de Barcelona. Barcelona.

HARVEY, D. (1982) The Limits to Capital. Basil Blackwell. Oxford.

HARVEY, D. (2003) Espacios de esperanza. Akal. Madrid.

HARVEY, D. (2007) Espacios del capital: Hacia una geografía crítica. Akal. Tres Cantos, Madrid.

HASSELL, M. P., COMINS, H. & MAY, R. M. (1991) "Spatial structure and chaos in insect population dynamics." Nature, 353

HAWORTH, J. & VINCENT, P. (1976) "Maximizing the nearestneighbor statistic." Area. Vol. 8

HAYNES, K. & FOTHERINGHAM, A. (1984) "Gravity and Spatial Interaction Models." Scientific Geography Series, Vol 2. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

HIETALA H. (1984) Intrasite spatial analysis in archaeology, Cambridge University Press. Cambridge.

HIRSCHBERG, N & HUMPHREYS, L. G. (Eds) (1982) Multivariate applications in the social sciences. Lawrence Erlbaum Associates, London.

HODDER, I. R. & HASSAL, M. (1971) "The nonrandom spacing in RomanoBritish walled towns." Man. Vol. 6

HODDER, I. R. (1972) "Locational models and the study of RomanoBritish settlement." In Models in archaeology, edited by D. L. Clarke. Methuen. London.

HODDER, I R. & ORTON, C. (1976) Spatial analysis in archaeology. Cambridge University Press. Cambridge.

HODDER, I. Y ORTON, C. (1990): Análisis Espacial en arqueología. Ed. Crítica. Barcelona.

HOULDING, S. W. (1994) 3D Geoscience modeling: Computer techniques for geological characterization. Springer. Berlín.

HOULDING, S. W. (2000) Practical geostatistics: modeling and spatial analysis Springer. Berlin.

HUGGETT, J. (2000) "Looking at intra-site GIS". In K. Lockyear, T.J.T. Sly, and V. Mihailescu-Birliba (eds) CAA96 Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. British Archaeological Reports International Series 845. Oxford.

HUX, M. (1993) Caciques puelches pampas y serranos. Marymar. Buenos. Aires

ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA., R. M. (1989) An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York.

JANICH, K. (1984) Topology. SpringerVerlag. New York.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. (1978) *Mining Geostatistics*, Academic Press, San Diego.

KAUFMAN, L. & ROUSSEEUW, P. J. (1990) Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. John Wiley & Sons, New York.

KING, L. J. (1969) Statistical analysis in geography. PrenticeHall. New Jersey.

KINTIGH, K. W. & AMMERMAN, A. J. (1982) "Heuristic approaches to spatial analysis in archaeology. *American Antiquity*. Vol. 47. N° 1

KINTIGH, K. W. (1990) "Intrasite spatial analysis: A commentary on major methods." In *Mathematics and information science in archaeology: A flexible framework*. Studies in Modern Archaeology Vol. 3, edited by A. Voorrips. HOLOS Verlag. Bonn.

KOETJE, T.A. (1994). Intrasite Spatial Structure in the European Upper Paleolithic. *Journal of Anthropological Archaeology*, 13

KOOYMAN, B. (2006) "Boundary theory as a means to understanding social space in archaeological sites. *Journal of Anthropological Archaeology*. Vol. 25, 3

KOTZ, S.; BALAKRISHNAN, N. & JOHNSON, N. L. (2000), "Bivariate and Trivariate Normal Distributions." Ch. 46 in *Continuous Multivariate Distributions*, Vol. 1: Models and Applications. Wiley. New York

KRISTIANSEN, K. (1985): *Archaeological formation processes: the representativity of archaeological remains*. Copenhagen.

KROLL, E. M. & PRICE, T. D. (Eds.) (1991) *The Interpretation of archaeological spatial patterning*. Plenum Press.

LADEFOGED, T. N. & PEARSON, R. (2000) "Fortified castles on Okinawa Island during the Gusuku Period, AD 1200-1600" *Antiquity*, 74.

LAWSON, A. B. & DENISON, D. (2002) (eds) *Spatial Cluster Modelling*. Chapman & Hall CRC, London.

LEFEBVRE, H. (1969) *El derecho a la ciudad*. (Trad.) J. González Pueyo. Edic. Península. Barcelona.

LEFEBVRE, H. (1971) *Contribución a la estética*. M. Winograd (Trad.) La Pleyade. Buenos Aires.

LEFEBVRE, H. (1991) *The Production of space*. Blackwell. Oxford.

LEGENDRE, P. & FORTIN, M. J. (1989) "Spatial pattern and ecological analysis." *Vegetatio* 80

LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. (1998) *Numerical ecology*. Elsevier Publishers, Amsterdam.

LENOBLE, A. BERTRAN, P. LACRAMPE, F. (2008) "Solifluction-induced modifications of archaeological levels: simulation based on experimental data from a

modern periglacial slope and application to French Palaeolithic sites". *Journal of Archaeological Science*. Vol. 35; 1

LEONTEV, A. (1979) *La Actividad en la Psicología*. Editorial de libros para la educación. La Habana.

LEONTEV, A. (1981) *Problems of the development of mind*. English translation, Progress Press. Moscow.

LIEBHOLD, A. M., ROSSI, R. E. & KEMP, W. P. (1993) "Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology." *Annu. Rev. Entomol*, 38

LLOBERA, M. (1996) "Exploring the topography of mind: GIS, social space and archaeology" *Antiquity* 70.

LLOYD, C. D. & ATKINSON, P. M. (2004). Archaeology and geostatistics. *Journal of Archaeological Science*, 31

LOCK, G. (1993) GIS or CAD: What's in a Name? *Archaeological Computing Newsletter*. Nº 37

LOCK, G.R. & STANČIĆ, Z. (eds) (1995) *Archaeology and Geographical Information Systems: a European Perspective*. London.

LOCK, G., BELL, T., & LLOYD, J. (1999) "Towards a methodology for modelling surface survey data: The Sangro Valley Project". In Gillings, M., Mattingly, D., and van J. Dalen, editors, *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology*. Nº 3 in *The Archaeology of Mediterranean Landscapes*. Oxbow Books, Oxford.

LOCK, G.R. (ed.) (2000) *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*. NATO Science Series A: Life Sciences 321. Amsterdam.

LOCK, G. (2003) *Using Computers in Archaeology*. Routledge, London

LOCK, G.; MOLYNEAUX, B. L. (Eds.) (2006) *Confronting Scale in Archaeology*. Issues of Theory and Practice New York: Springer

LÓPEZ DE LUZURIAGA, A. & OLANO, J. M. (2006) "Con los pies en el suelo: incluyendo la estructura espacial de los datos en los análisis multivariantes." Revista Ecosistemas. Año XV. N° 3

LOSIER, L.-M.; POULIOT, J. FORTIN, M. (2007) "3D geometrical modeling of excavation units at the archaeological site of Tell `Acharneh (Syria)." Journal of Archaeological Science. Vol. 34; 2

MACCHI JANICA, G. (2003) "Spatial Analysis Utilities (SAU). Uno strumento per lo studio quantitativo dei sistemi di distribuzione spaziale." Archeologia e Calcolatori. Vol. 14

MAMELI, L., BARCELO, J. A. & ESTÉVEZ, J. (2002) The Statistics of Archeological Deformation Process. A zooarchaeological experiment En Archaeological Informatics: Pushing the Envelope. Edited by G. Burenhult. ArchoPress. Oxford.

MAMELI, L. (2004) La gestión del recurso avifaunístico por las poblaciones canoeras del archipiélago fuegino. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

MANSUR, M. E., MAXIMIANO, A. et al (2005) Arqueología de Rituales en Sociedades Cazadoras-Recolectoras. Una aproximación desde el Análisis del Espacio Socialmente Producido. En: *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos... y Desvelando arcanos*. Fundación CEQUA, Punta Arenas, Chile. En prensa

MARDIA, K. V. (1985). "Mardia's Test of Multinormality," in S. Kotz and N.L. Johnson, eds., *Encyclopedia of Statistical Sciences*, vol. 5. Wiley. New York.

MARDIA, K. V. (1970) *Families of bivariate distributions*. Griffin. London.

MARGALEF, R. (1991) Teoría de los sistemas ecológicos. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona.

MARX, K. (1987) Miseria de la filosofía. Siglo Veintiuno. México.

MATE, L, C. (1992) "El planteamiento y el análisis del desarrollo de la prospección: Dos capítulos olvidados en los trabajos de arqueología territorial." Trabajos de

Prehistoria, 49.

MATHERON, G. (1963) "Principles of geostatistics". *Econ. Geol.* 8

MATHERON, G. (1965) Les variables régionalisées et leur estimation. Une application de la théorie des fonctions aleatoires aux sciences de la nature. Masson. Paris.

MATHERON, G. (1971) "La théorie des variables régionalisées et ses applications" Les Cahiers du Centre de Morphologie mathématique de Fontainebleau. Fascicule 5

MATHERON, G. (1989) Estimating and Choosing. Springer-Verlag. Berlín.

MAXIMIANO, A. (2005) Métodos geocomputacionales aplicados al análisis espacial en arqueología. Trabajo de Investigación. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.

McCORMICK, B. H., DEFANTI, T. A. & BROWN, M. D. (1987) Visualization in scientific computing. *Computer Graphics*. Vol. 21, 6

McNUTT, C.H. (1981) "Nearest neighbors, boundary effect, and the old flag trick: a multidimensional space." *Annals of the Association of American Geographers* 53

McPHERSON, S. (2005) "Artifact orientations and site formation processes from total station proveniences." *Journal of Archaeological Science*. Vol. 32; 7

MOLINOS MOLINOS, M. et alii (1993) "Hechos deposicionales y postdeposicionales: Aspectos metodológicos para la definición de la 'Coyuntura Cero'". *Arqueología Espacial* 16-17. Teruel.

MOLLER, J. & WAAGEPETERSEN, R. P. (2003). *Statistical Inference and Simulation for Spatial Point Processes*. Chapman and Hall/CRC. Boca Raton.

MOLLER, J. & WAAGEPETERSEN, R. P. (2007). "Modern statistics for spatial point patterns". *Scandinavian Journal of Statistics*. Vol. 34, 4.

MORAL, F.J. (2003). La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas. Geoestadística lineal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Badajoz.

MOSCATELLI, U. (1999) "Dispersione dei materiali archeologici e interpretazione: il contributo del GIS Idrisi" *Archeologia e Calcolatori*. Vol. 10

MOYES, H. (2001) *The Cave as a Cosmogram: The Use of GIS in an Intrasite Spatial Analysis of The Main Chamber of Actun Tunichil Muknal, A Maya Ceremonial Cave in Western Belize*. M.A. Thesis, Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida.

NEIMAN, F. D. (1997) "Conspicuous consumption as wasteful advertising: A Darwinian perspective on spatial patterns in Classic Maya terminal monument dates." In Barton, M. C. & Clark, G. A., editors, *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archaeological Explanation*. Vol. 7 of *Archaeological Papers of the American Anthropological Association* 7. American Anthropological Association. Washington.

NEWBERY, D. et al. (1986) Spatial Pattern of Trees in Kerangas Forest. *Sarawak Vegetatio*, 65.

NICOLIS, G (1987) *La Estructura de lo complejo: En el camino hacia una nueva comprensión de las ciencias*. Alianza. Madrid.

NIJKAMP, P. & REGGIANI, A. (1992) *Interaction, evolution and chaos in space*. Springer, Berlin.

NIJKAMP, P. & REGGIANI, A.(1996): "Space-Time in Innovation Diffusion: A Nested Network Simulation Approach". *Geographical Analysis*. Vol. 28, nº 1

NOCETE CALVO, F. (1988) "Estómagos bípedos/estómagos políticos" *Arqueología Espacial* nº 12. Teruel

NOCETE CALVO, F. (1989) El Espacio de la Coerción. La Transición al Estado en las Campiñas del Alto Guadalquivir (España). 3000 - 1500 a.C. BAR International Series 492. Monographs on Spanish and Portuguese Archaeology 1. Oxford. British Archaeological Reports

NOCETE CALVO, F. (1997) "Prospección Arqueológica: La ilusión de un debate académico o la falsa esperanza de renovación en una disciplina." Actas del II Encuentro de Arqueología y Patrimonio.

NOCETE CALVO, F. (2001) Tercer Milenio a.n.e. Relaciones y Contradicciones Centro-Periferia en el Valle del Guadalquivir. Barcelona. Bellaterra

NOCETE CALVO, F. (Ed.) (2004) Odiel. Proyecto de Investigación Arqueológica para el Análisis del Origen de la Desigualdad Social en el Suroeste de la Península Ibérica. Sevilla. Junta de Andalucía.

OLSSON, D. (1974) "The Dialectics of Spatial Análisis" Antipode Vol. 6, nº 3

ORQUERA, L. A. & PIANA, E. (1991) "La formación de los montículos arqueológicos de la región del canal Beagle". Runa. Vol. XIX

ORQUERA, L. A. & PIANA, E. (1996) "La imagen de los caneros magallánico-fueguinos: conceptos y tendencias". Runa. Vol. XXII

ORQUERA, L. A. (1999) "Análisis de los conchales fueguinos y de la distribución espacial interna del Sitio Túnel VII". En: Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina, 66 A 72. La Plata.

ORQUERA, L. A. & PIANA, E. (1999) "La vida social y material de los Yámana". En Eudeba-IFIC. Buenos Aires.

ORTIZ, J. & DEUTCH, C. (2002) Calculation of Uncertainty in the Variogram, Mathematical Geology. Vol. 34

ORTON, C. (1980) Mathematics in archaeology. Collins. London.

ORTON, C. (2004) "Point pattern analysis revisited." Archeologia e Calcolatori. Vol. 15

ORTON, C. (2005) "Adding value to GIS –some spatial- analytical techniques and their applications" Paper presented at The GIS Symposium "Reading the Historical Spatial Information in the World" -Studies for Human Cultures and Civilizations based on Geographic Information System- held in Kyoto

OVEJERO Y MAURY, E. (trad. y pról.) (1970) Nuevo tratado sobre el entendimiento humano: I. De las ideas innatas. Leibniz, Gottfried Wilhelm, Freiherr von. Aguilar. Buenos Aires.

PAREJA, E. (trad. y pról.) (1963) Sistema nuevo de la naturaleza: Y de la comunicación de las sustancias, así como también de la unión entre el alma y el cuerpo. Leibniz, Gottfried Wilhelm, Freiherr von. Aguilar. Madrid.

PEARL, J. (2000). Causality: models, reasoning, and inference. Cambridge University Press.

PEET, R. (1977) Radical Geography : Alternative viewpoints on contemporary social issues. Maaroufa Press. Chicago.

PERLÈS, C. (1999) "The distribution of *magoules* in Eastern Thessaly." In Halstead, P., editor, *Neolithic Society in Greece*, Sheffield Studies in Aegean Archaeology Sheffield Academic Press, Sheffield.

PERRY, J. N. & DIXON, P. (2002) "A new method to measure spatial association for ecological count data." *Ecoscience* 9: 133-141.

PIANA, E. et al (1992) "Chronicles of Ona-ashaga: archaeology in the Beagle Channel (Tierra del Fuego, Argentina)". *Antiquity*. Vol. 66, n° 252

PIANA, E., ESTÉVEZ, J. & VILA, A. (2000) "Lanashuaia: un sitio de canoeros del siglo pasado en la costa norte del canal Beagle". En: Desde el País de los Gigantes. Perspectivas arqueológicas en Patagonia. Tomo II. Argentina.

PIELOU, E. C. (1959) "The use of point-to-point distances in the study of the pattern of plant populations." *Journal of Ecology* 47.

PIELOU, E. C. (1960) "A single mechanism to account for regular, random and aggregated populations." *Journal of Ecology* 48.

PIELOU, E. C. (1969) *An introduction to mathematical ecology*. Wiley-Interscience. New York.

PINDER, D. A. & WITHERICK, M. E. (1972) "The principles, practice and pitfalls of nearest-neighbor analysis." *Geography*, 57

PINDER, D. A. & WITHERICK, M. E. (1975) "A modification of nearest-neighbor analysis for use in linear situations." *Geography*, 60.

PINDER, D., SHIMADA, I. & GREGORY, D. (1979) "The nearest-neighbor statistic: archaeological application and new developments." *American Antiquity*, 44.

PREMO, L. (2004) "Local spatial autocorrelation statistics quantify multi-scale patterns in distributional data: An example from the Maya Lowlands." *Journal of Archaeological Science*, 31.

PRIGOGINE, I (1997) El Fin de las certidumbres Taurus. Madrid.

POPPER KARL, R. (1962) La Lógica de la investigación científica: Tecnos, Madrid

POPPER KARL, R. (1967) El Desarrollo del conocimiento científico: Conjeturas y refutaciones. Paidós. Buenos Aires.

POPPER KARL, R. (1974) Conocimiento objetivo: Un enfoque evolucionista. Tecnos. Madrid.

RENFREW, C & DIXON, J. (1976) "Obsidian in Western Asia: A Review. In *Problems in Economic and Social Archaeology.*" (Ed.) Sieveking, I. H. Longworth & K. E. Wilson, pp. 137-150. Gerald Duckworth & Co. London.

RENFREW, C. Y BAHN, P. (1993): Arqueología. Teorías, Métodos y Práctica. Ediciones Akal. Madrid.

RENSHAW, E. & FORD, E.D. (1983) "The Interpretation of Process from Pattern using Two- Dimensional Spectral Analysis." *Appl. Stat.* 32

RENSHAW, E. & FORD, E.D. (1984) "The Description of Spatial Pattern Using Two- Dimensional Spectral Analysis." *Vegetatio*, 56

RIPLEY, B. D. (1976). "The second order analysis of stationary point process." *Journal of Applied Probability*, 13.

RIPLEY, B. D. (1977) "Modelling spatial patterns." *Journal of the Royal Statistical Society*, B41

RIPLEY, B.D. (1979) "Test of 'randomness' for spatial patterns." *Journal of the Royal Statistical Society (series B)* 41

RIPLEY, D. B. (1981) *Spatial Statistics*. John Wiley & Sons. New York.

RIPLEY, B.D. (1988) *Statistical inference for spatial processes*. Cambridge University Press. Cambridge.

ROBERTSON, I.G. (1999) "Spatial and Multivariate Analysis, Random Sampling Error, and Analytical Noise: Empirical Bayesian Methods at Teotihuacan, Mexico". *American Antiquity*. Vol. 64, 1.

ROBINSON, J.M. AND ZUBROW, E. (1999) "Between spaces: interpolation in archaeology". In M. Gillings, D. Mattingly, and J. van Dalen (eds) *Geographic Information Systems and Landscape Archaeology. The Archaeology of Mediterranean Landscapes 3*. Oxford.

ROSE, C. & SMITH, M. D. (1996) "The Multivariate Normal Distribution." *Mathematica J.* 6

ROSSI, R. E. et al (1992) "Geostatistical tools for modelling and interpreting ecological spatial dependence." *Ecol. Monogr.* 62

RUGGLES, C. L. N. & MEDYCKYJ-SCOTT, D. J. (1996). "Site location, landscape visibility, and symbolic astronomy: A Scottish case study." In Maschner, H. D. G., editor. *New Methods, Old Problems: Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*, number 23 in Occasional Paper. Southern Illinois University Center for Archaeological Investigations. Carbondale.

RUIZ ZAPATERO, G. Y BURILLO, F. (1988) "Metodología para la investigación en Arqueología Territorial." Munibe, 6

SAMPER, F.J.; CARRERA, J. (1996): Geoestadística. Aplicaciones a la Hidrología Subterránea. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona.

SÁNCHEZ VÁZQUEZ, A. (1970) Estética y marxismo. Ediciones Era. México.

SÁNCHEZ, J. E. (1981) La geografía y el espacio social del poder. Los libros de la Frontera. Barcelona.

SÁNCHEZ, J. E. (1991) Espacios, economía y sociedad. Siglo Veintiuno Editores. Madrid.

SANTOS, M. (2000) La Naturaleza del espacio: Técnica y tiempo, razón y emoción. Ed. Ariel. Barcelona.

SANZ GALLEGO, N. (1993) "Para una lógica social del espacio en Prehistoria." Complutum, 4

SAVAGE, S. H. (1990) "Modelling the Late Archaic social landscape". In K.M.S. Allen, S. Green, and E.B.W. Zubrow (eds) Interpreting Space: GIS and Archaeology. London.

SCHEINSOHN, V. et al (1992) "El aprovechamiento de la avifauna como fuente de materia prima en la Isla Grande de Tierra del Fuego: Lancha Packewaia, Shamakush y Túnel I". Arqueología. Vol. 2

SCHABENBERGER, O., GOTWAY, C.A. (2005) Statistical Methods for Spatial Data Analysis, Chapman & Hall/CR.

SCHIAVINI, A. (1993) "Los pinnípedos como recurso para cazadores-recolectores marinos: el caso de Tierra del Fuego". Latin American Antiquity. Vol. 4, 4

SCHIFFER, M. (1972) "Contexto arqueológico y contexto sistémico." *American Antiquity*, 37

SCHIFFER, M. B., SULLIVAN, A. P. & KLINGER, C. (1978) "The design of archaeological surveys." *World Archaeology*, 10

SCHIFFER, M. B. (1987) *Formation Processes in the archaeological record*. University of New Mexico Press, Albuquerque.

SHENNAN, S. (1988) *Quantifying Archaeology*. Edinburgh University Press, Edinburgh.

SILVERMAN, B. W. (1986) *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman and Hall. London

SMITH, S. P.; JAIN, A-K. (1988) "A test to determine the multivariate normality of a dataset". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 10 (5)

SOKAL, R. R. & ODEN D. L. (1978a) "Spatial autocorrelation in biology. 1. Methodology." *Biol J Linn Soc.* 10

SOKAL, R. R. & ODEN D. L. (1978b). "Spatial autocorrelation in biology. 2. Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest." *Biol J Linn Soc.* 10

SOKAL, R. (1979) "Testing Statistical Significance of Geographic Variation Patterns." *Systematic Zoology*. Vol. 28, No. 2

SOKAL R. R., ODEN D. L. & THOMPSON B. A. (1997) "A simulation study of microevolutionary inferences by spatial autocorrelation analysis." *Biol J Linn Soc.* 60.

SONKA, M., HLAVAC, V. & BOYLE, R. (1993) *Image, Processing, Analysis and Machine Vision*. Chapman & Hall Computing Series. Chapman & Hall. London.

SPARROWE, R., LIDEN, R., WAYNE, S. & KRAIMER, M. (2001) "Social networks and the performance of individuals and groups." *Academy of Management Journal*. Vol. 44, n° 2

STREUVER, S. (1971) "Comments on archaeological data requirements and research strategy." *American Antiquity*, 36

STROGATZ, S. H. (1994) *Nonlinear dynamics and chaos: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. Perseus Books. Cambridge.

STOYAN, D. & STOYAN, H. (1994) "Fractals, Random Shapes and Point Fields". John Wiley & Sons, England.

TAULÉ i DELOR, M. (1996) "Propuesta metodológica de aproximación a concheros a través de la micromorfología de suelos". En *Arqueología sólo Patagonia*, (ponencias de las Segundas Jornadas de Arqueología de Patagonia), (1993), págs. 223-230. Puerto Madryn.

THOMPSON, H. R. (1956) "Distribution of distance to nth neighbor in a population of randomly distributed individuals." *Ecology*, 37

TOBLER, W. R. (1970). "A computer model simulation of urban growth in the Detroit region". *Economic Geography*. Vol. 46, nº 2

TOMKA, A.S. Y STEVENSON. G.M. (1993) "Understanding abandonment processes: summary and remaining concerns." In: *Abandonment of settlements and regions. Ethnoarchaeological and archaeological approaches*. Ed by: C.M. Caneron and Steve. A Tomka. *New Directions in Archaeology*. Cambridge University Press.

TUCERYAN, M. & JAIN, A.K. (1993) *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*. World Scientific, Singapore.

UPTON, G. J. G. & FINGLETON, B. (1985) *Spatial Data Analysis by Example, Volume 1: Point Pattern and Interval Data*. John Wiley. New York.

UPTON, G. J. G. & FINGLETON, B. (1989) *Spatial Data Analysis by Example, Volume 2: Categorical and Directional Data*. John Wiley. New York.

URBANCZYK, P. (1986) "Formazione e struttura delle stratificazione archeologiche." G. DONATO, G. HENSEL, W. & TABACZYNSKI, S. (Eds.) *Teoria e pratica della ricerca archeologica*, Roma.

VENABLES, W.N. & RIPLEY, B.D. (1997) *Modern Applied Statistics with S-PLUS*, Springer, New York.

VILA, A. & WÜNSCH, G. (1990) "Un pequeño paso antes del gran salto (o investigación teórico-metodológica en Tierra del Fuego)". *Xabiga*. Vol. 6

VILA, A. & ESTÉVEZ, J. (1999) "Calibrando el Método: Arqueología en Tierra del Fuego". *Atti 1. Congreso Di Etnoarcheologia*. Roma.

VULLO, N., FONTANA, F. AND GUERRESCHI, A. (1999) "The application of GIS to intra-site spatial analysis: preliminary results from Alpe Veglia (VB) and Mondeval de Sora (BL), two Mesolithic sites in the Italian Alps". In J.A. Barcelo, I. Briz and A. Vila (eds) *New Techniques for Old Times: CAA98*. British Archaeological Reports International Series 757. Oxford.

V.V.A.A. (1989). "Fronteras". *Arqueología Espacial*, 13-14. Seminario de Arqueología y Etnología Turolense. Colegio Universitario de Teruel. Teruel.

V.V.A.A. (1991) *Archaeologie et spaces*. Actes des X Rencontres Internationales d'Archaeologie et d'Historie d'Antibes. CNRAAPDCA, Antibes.

VIDAL DE LA BLACHE, P. (1922) *Principes de géographie humaine*. Armand Colin, Paris.

VILA, A. (Coord.) (1991) *Arqueología, nuevas tendencias*. CSIC. , Madrid.

VINCENT, P. (1976) *The general case: how not to measure spatial point patterns*. *Area*. Vol. 8.

WAKERNAGEL, H. (1998): *Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications*. Springer-Verlag. Berlín.

WAKERNAGEL, H. (2003) *Multivariate Geostatistics*. Springer. Berlín.

WARREN, R.E. (1990) "Predictive modelling of archaeological site location: a primer". In K.M.S. Allen, S.W. Green and E.B.W. Zubrow (eds) *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. London.

WASHBURN, D. K. (1974) Spatial analysis of occupation floors II: the application of nearest neighbor analysis. *American Antiquity* 39.

WASSERMAN, S., & FAUST, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press. New York.

WEERTS, H. J. T. & BIERKENS, M. F. P. (1993) "Geostatistical analysis of overbank deposits of anastomosing and meandering fluvial systems; Rhine-Meuse delta, the Netherlands." In: C.R. Fielding, Editor, *Proceeding of the Fifth International Congress on Fluvial Sedimentology*. Sedimentary Geology. Vol. 85

WESTCOTT, K. L. & BRANNON, R. J. (Eds.) (2000) *Practical Applications of GIS for Archaeologists: a Predictive Modeling Kit*. Taylor & Francis, N.Y.

WHALLON, R. (1973) Spatial analysis of occupation floors I: the application of nearest neighbor analysis of variance. *American Antiquity* 38.

WHALLON, R. (1974) Spatial analysis of occupation floors II: the application of nearestneighbor analysis. *American Antiquity* 39.

WHALLON, R. (1984) Unconstrained clustering for the analysis of spatial distributions in archaeology. In HIETALA, H. (ed.) *Intrasite Spatial Analysis in Archaeology*

WHEATLEY, D. & GILLINGS, M. (2002) *Spatial Technology and Archaeology: a Guide to the Archaeological Applications of GIS*. Taylor & Francis. London.

WHEATLEY, D. (2000) "Spatial technology and archaeological theory revisited". In K. Lockyear, T.J.T. Sly, and V. Mihailescu-Birliba (eds) *CAA96 Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. British Archaeological Reports International Series 845. Oxford.

WHEATLEY, D. (2004) "Making space for an archaeology of place". *Internet Archaeology*, 15. <http://eprints.soton.ac.uk/28800>.

WILLIAMS, J. T. (1993). "Spatial autocorrelation and the Classic Maya collapse: One technique, one conclusion." *Journal of Archaeological Science*, 20.

WOODMAN, P.E. & WOODWARD, M. (2002) "The use and abuse of statistical methods in archaeological site location modelling". In D. Wheatley, G. Earl, and S. Poppy (eds) *Contemporary Themes in Archaeological Computing*. University of Southampton Department of Archaeology Monograph 3. Oxford.

WORBOYS, M. F. (1995) *GIS: A computing perspective*. Taylor & Francis, London.

ZAR, J. H. (1996) *Biostatistical Analysis* 3a ed. Prentice Hall.

WÜNSCH, G. (1989) *La organización interna de los asentamientos de comunidades cazadoras recolectoras: El análisis de las interrelaciones espaciales de los elementos arqueológicos*. *Trabajos de Prehistoria*, 46.

WÜNSCH, G. (1991) "La organización del espacio interno de los asentamientos de comunidades cazadoras-recolectoras: Revisión crítica y alternativas". *Xama* 4-5.

WÜNSCH, G. (1996) *Thinking about the spatial articulation of the archaeological record: the role of statistical techniques*. *Archeologia e Calcolatori*. Vol. 7

WÜNSCH, G. (1996) "Aplicación del análisis de las interrelaciones espaciales (ANITES) sobre datos etnoarqueológicos: el sitio Túnel VII (Tierra del Fuego, Argentina)". En *Arqueología sólo Patagonia*, (ponencias de las Segundas Jornadas de Arqueología de Patagonia), (1993) Puerto Madryn.

WÜNSCH, G., ARASA, E. & PÉREZ, M. (1996) "Dissecting the palimpsest: an easy computer-graphic approach to the stratigraphic sequence of Tunel VII site (Tierra del Fuego, Argentina)". *Analecta Praehistorica Leidensia Univ. of Leiden*.

YANG, X. & HOLDER, T. (2000) "Visual and statistical comparisons of surface modeling techniques for point-based environmental data." *Cartography and Geographic Information Science*, 27

ZIEBART, M., HOLDER, N., & DARE, P. (1998) "Field digital data acquisition (FDA) using total station and pencomputer: A working methodology." In Wheatley, D., Earl, G., & Poppy, S., editors, Contemporary Themes in Archaeological Computing. N° 3. University of Southampton. Department of Archaeology Monograph. Oxbow Books, Oxford.

ZUBROW, E. B. W. & HARBAUGH, J. W. (1978) "Kriging and simulation." In I. Hodder (Ed.) Simulation Studies in Archaeology. Cambridge University Press. Cambridge.

ZUBROW, E. B. W. (1994) "Knowledge representation and archaeology: A cognitive example using GIS." In Renfrew, C. and Zubrow, E. B. W., editors, The Ancient Mind: Elements of a Cognitive Archaeology. Cambridge University Press. Cambridge.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema topológico de las posibilidades de pertenencia de un punto.

Figura 2: representación de la generación de curvas de nivel.

Figura 3: Esquema de espacio tridimensional.

Figura 4: Esquema de una sucesión definida explícitamente.

Figura 5: Esquema de las formas que pueda adoptar una sucesión.

Figura 6: Esquema de sucesiones oscilantes.

Figura 7: Según el esquema anterior, si un cuerpo se mueve a una velocidad determinada v con respecto a un observador en reposo y ese mismo hecho es visto por otro observador, que esté bajo un tipo de movimiento concreto (el caso de la figura es un rectilíneo uniforme hacia la pelota) la medida de los efectos producidos son diferentes desde cada observador.

Figura 8: Esquema gráfico de la *autocorrelación*.

En http://hypergeo.free.fr/IMG/gif/Fin_Autocorrelation.gif

Figura 9: Aproximación al esquema de una red social, elaboración propia.

Figura 10: Ejemplo de una matriz de distancias.

Figura 11: Ejemplo de un modelo espacial pentadimensional de *sucesión* de estados (superior izquierda: estado 1, inferior derecha; estado 2) en un proceso espacial. La coloración determina la intensidad de los valores locales de la variable dependiente en el espacio.

Figura nº 12: Fotomontaje, donde se ejemplifica los restos (en blanco y negro) y la acción (en color) realizado con partes de imágenes separadas procedentes de:

http://nethistoire.free.fr/campement_de_cro-magnon.php;

<http://en.wikipedia.org/wiki/Magdalenian>

Figura13: La entropía como función inversa en la relación entre probabilidad y grado de esperanza en la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Figura 14: Representación de una población aleatoriamente distribuida y otra regularmente distribuida (con clara tendencia a la agregación concentrada) En el primer caso, no existe posibilidad de ir más allá de la afirmación (test) del desorden espacial, mientras que en el caso de la derecha sí existe posibilidad de investigar la estructura espacial percibida.

Figura 15: Tomado de: J .J. Camarero, M.J. Fortín (2006) “*Detección cuantitativa de fronteras ecológicas y ecotonos*” *El área de estudio muestra un gradiente de tonos grises que corresponde a la*

escala de valores cuantitativos de la variable de estudio. Sobre el mismo caso, se plantean diferentes tipos de discontinuidad que dependerá del tipo de proceso espacial que caracterice a la distribución. De tal manera que pueden existir los siguientes tipos de límites: a) Lineal brusca (nítida, estrecha) y contigua (conectada). b) Lineal brusca (nítida, estrecha) pero desconectada (abierta). c) Zonal de transición gradual, de anchura constante y contigua (conectada). d) Zonal de transición gradual pero de anchura variable y contigua (conectada).

Figura 16: Esquema de una sucesión de estados, los cuales constituyen una tendencia o trayectoria (γ) de un sistema dado (ξ) a lo largo del tiempo (T_0, T_1, \dots, T_n).

Figura 17: Tomado de Barceló et al (1998). En la imagen se puede ver la depositación de huesos de ovicáprido, bóvido y cerdo en el interior de una estructura: pozo de basuras, donde la acción es la gestión de residuos de consumo.

Figura 18: Comparación de los mapas de distribución de la probabilidad en la localización de las tumbas en un fase y otra. Destaca la diferencia en la intensidad de campo (atracción) y el tipo de discontinuidad que presenta cada una de las fases. Mientras que en la fase antigua, la atracción no es muy elevada y su discontinuidad es difusa, en la segunda etapa la atracción es intensa y los límites se encuentran muy marcados.

Figura 19: Distribución espacial de restos de fosfatos en un yacimiento arqueológico medieval, posiblemente asociado a actividades del curtido de cueros. Imagen tomada de: *The development of the medieval settlement pattern and landscape in coastal Flanders, AD 400-1500: The Leffinge pilot project, 2002-2004*. Project Directors: Chris Loveluck, University of Nottingham and Dries Tys, Free University of Brussels (VUB).

Figura 20: Un ejemplo de campo escalar. Imagen de tabla de contingencia y gráfico de distribución de restos óseos de pájaros del yacimiento *Túnel VII archaeological site (Tierra del Fuego, Argentina)*. *Chronology: 19th. Century* (Barceló and Maximiano 2007).

Figura 21: Esquema que representa los patrones espaciales. Área 1: tendencia a la uniformidad (máxima dispersión); área 2 y 3: tendencia a la *aleatoriedad*; área 3 y 4 tendencia a la agregación (concentraciones) Imagen tomada de:

http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/NET/shared/geoprocessing/spatial_statistics_tools/average_nearest_neighbor_spatial_statistics_.htm

Figura 22: En el gráfico se delimita la zona de actuación del análisis NNA enmarcado en su *convex hull*.

Figura 23: Representación del operador K : Un punto p cualquiera, con un radio r (en color azul) constante cuantifica el número de puntos inscritos en dicho radio y calcula las inter-distancias existentes entre los puntos. En la misma imagen se ejemplifica el problema del efecto borde (recuadro rojo discontinuo).

Figura 24: Ejemplificación de regiones vecinas sin ningún tipo de relación.

Figura 25: Ejemplificación de regiones vecinas con tendencia a tener propiedades idénticas o de valores semejantes (ejemplo: regiones homogéneas, gradientes regulares).

Figura 26: Ejemplificación de regiones vecinas con tendencia a cualidades diferentes, o bien alternan los valores fuertes con los débiles.

Figura 27: Imagen de las componentes de un variograma. Tomado de R.M .Crujeiras Casais (2007) en <http://eio.usc.es/pub/Crujeiras/apuntes/geoestadistica.pdf>

Figura 28: Cluster Jerárquico de una población aleatoria ($n=20$, sobre un área de 10×10) realizado en Past con distancias euclídeas mediante el algoritmo: *Single Linkaje*. Destaca la separación del ítem 7 con el resto de casos debido a su localización extrema. Esto sería una primera solución de la variabilidad espacial de la distribución .En el lado opuesto, se encuentra el par de ítems 8-14.

Figura 29: Distribución espacial teórica de 4 poblaciones diferentes, en donde el algoritmo establece dos conjuntos de soluciones viables (en dos conjuntos y en cuatro conjuntos), tomado de Barceló & Maximiano 2007.

Figura 30: Distribución teórica ($n=100$) que cumple la condición SCR, imagen de la derecha muestra la solución heurística de dicha población con la configuración de clusters generados por K-means.

Figura 31: Representación histograma 3D de la distribución espacial a nivel de palimpsesto en el yacimiento Fortín Otamendi ($n=520$ y la retícula es de 50×50 cm.), visto desde ángulos diferentes. Elaboración propia mediante SPSS.

Figura 32: Fotomontaje en donde se muestra el proceso de interpretación espacial.

Figura 33: Distribución de puntos (arriba) y tablas de contingencia (abajo) de las poblaciones; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Figura 34: Histogramas de las poblaciones; $n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha.

Figura 35: Densidad Kernel en 2D; $n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha.

Figura 36: Densidad Kernel en 3D; $n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha.

Figura 37: Histogramas de las poblaciones; $n=10$ a la izquierda, $n=10000$ a la derecha.

Figura 38: Grafico de la función $K(d)$ de Ripley.

Figura 39: Ejemplificación de la ventana del Rookcase de Excel para determinar el tipo de adyacencia entre retículas vecinas. Esta imagen explica los tipos de adyacencia posible.

Figura 40: Gráfico de la función Correlograma.

Figura 41: Imagen de los semivariogramas, a la izquierda población $n=100$, a la derecha población $n=1000$.

Figura 42: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n=100$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación.

Figura 43: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n=1000$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

Figura 44: En la imagen compuesta de las dos poblaciones ($n=100$ a la izquierda, $n=1000$ a la derecha) se ve la tasa de cambio según una escala de colores. El cambio es una expresión porcentual que va desde colores fríos que indican bajas tasas de cambio, hasta colores cálidos que indican tasas de cambio considerable.

Figura 45: Representación 3D del gradiente espacial aleatorio población $n = 100$. En la parte inferior vistas sin trama de color desde diferentes ángulos, lo que permite apreciar la torsión en la superficie del gradiente.

Figura 46: Representación 3D del gradiente espacial aleatorio población $n = 1000$. En la parte inferior vistas sin trama de color desde diferentes ángulos, lo que permite apreciar la deformación de la superficie del gradiente.

Figura 47: Imagen de la distribución normal bivariada. Tomada de Barceló & Maximiano 2007.

Figura 48: Distribución de puntos (arriba) y tablas de contingencia (abajo) de las poblaciones; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Figura 49: Histogramas de las poblaciones; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Figura 50: Densidad Kernel en 2D; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Figura 51: Densidad Kernel en 3D; $n= 100$ a la izquierda, $n= 1000$ a la derecha.

Figura 52: Histogramas de las poblaciones; $n=10$ a la izquierda, $n=10000$ a la derecha.

Figura 53: Gráfico de la función $K(d)$ de Ripley.

Figura 54: Grafico de la función Correlograma.

Figura 55: Imagen de los semivariogramas, a la izquierda población $n=100$, a la derecha población $n=1000$.

Figura 56: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n = 100$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

Figura 57: Superficies polinómicas de orden 4. La superior representa a la población $n = 1000$ con trama de color donde se ve la frecuencia. En la parte inferior se visualiza sin trama para percibir la deformación de la superficie.

Figura 58: Imagen del gradiente en 2D y 3D, a la izquierda la población $n=100$, a la derecha $n=1000$. La leyenda indica de manera porcentual la tasa de cambio en la intensidad del proceso espacial.

Figura 59: Distribución de puntos (arriba) y tabla de contingencia (abajo) de la población; $n=325$.

Figura 60: Histogramas de las poblaciones; $n= 325$.

Figura 61: Densidad Kernel en 2D y 3D; $n= 325$.

Figura 62: Composición visual de la nueva población $n=179$. Histograma 3D, nube de puntos, superficie de densidad sin trama de color y mostrando la gradación de la intensidad desde tonos fríos (frecuencias bajas) hacia cálidos (frecuencias altas).

Figura 63: Grafico de la función $K(d)$ de Ripley.

Figura 64: Grafico de la función Correlograma.

Figura 65: Imagen del semivariograma.

Figura 66: Detalle de la nube de puntos del semivariograma.

Figura 67: Campo escalar a la izquierda, representación gráfica de valores (Imagen obtenida mediante software Vesper) empleando escala de colores cold-hot (de mayor a menor frecuencia por retícula).

Figura 68: Semivariograma de la distribución ($n =169$) a la derecha, representación bidimensional de valores empleando escala de colores cold-hot (de mayor a menor frecuencia por retícula) a diferente tamaño de resolución.

Figura 69: Superficie polinómica de orden 4, desde la que se representa la población espacialmente distribuida $n = 325$.

Figura 70: Gradiente de la distribución en 2D. La leyenda indica de manera porcentual la tasa de cambio en la intensidad del proceso espacial.

Figura 71: Imagen del gradiente en 2D y 3D, a la izquierda la población.

Figura 72: Detalle de los valores de campo escalar detectados por el gradiente.

Figura 73: Aproximación geográfica al área (enmarcada en elipses rojas).

Figura 74: Imágenes del yacimiento, parte inferior propuesta de ubicación de la cabaña.

Figura 75: Fotomontaje donde se documentan como era una cabaña yámana (izquierda), a la derecha una experimentación donde se replican diferentes formas de cabaña. Parte inferior, interpretación de la ubicación de la cabaña en base al registro arqueológico apoyado en la información etnográfica y experimental.

Figura 76: Aproximación geográfica al área (enmarcada en elipses roja y amarilla).

Figura 77: Recreación del interior de un *fortín*. Imagen tomada de http://www.venadovirtual.com.ar/guia_turistica/hinojo/images/fortin.gif

Figura 78: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

Figura 79: Isolíneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Figura 80: Imagen del Correlograma de la distribución.

Figura 81: Imagen compuesta por el semivariograma. Se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial. A la izquierda, con tamaño de retícula (0.5x0.5) y a la derecha (1x1).

Figura 82: Superficies polinómicas de orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde N.-E., en frente queda la zona de mayor valor de frecuencia. Inferior derecha imagen tomada desde S.-W., se ve a través de la zona de mayor valor de frecuencias.

Figura 83: Superficie polinómica con trama de color.

Figura 84: Gradiente 2D de la distribución.

Figura 85: Gradiente 3D de la distribución. La orientación es N.-E. se incluye misma imagen pero sin trama de color para hacer hincapié en las dos zonas estables y contrapuestas.

Figura 86: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

Figura 87: Isolineas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Figura 88: Imagen del Correlograma.

Figura 89: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial: a la izquierda con tamaño de retícula (10x10), en el centro (1x1), a la derecha (0.5x0.5).

Figura 90: Superficies polinómicas de Orden 4. Imagen Superior izquierda tomada desde N.-W. Intermedia tomada desde S.-E. Inferior derecha tomada desde N.-E.

Figura 91: Superficie polinómica de la población *ave* con trama de color.

Figura 92: Gradiente de la población *ave* episodio F en 2D .

Figura 93: Gradiente en 3D de la distribución. La orientación es S.-E. se incluye misma imagen pero sin trama de color para hacer hincapié en las dos zonas estables y contrapuestas.

Figura 94: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin-plane Splin*) y la tabla de contingencia.

Figura 95: Isolineas de la distribución, en rojo la localización de la media, en azul la localización de la desviación.

Figura 96: Imagen del Correlograma de la distribución *lobo*.

Figura 97: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a diferentes tamaños de la retícula usada por Vesper, pudiendo apreciarse cómo a diferentes tamaños, se reconocen diferentes elementos de la misma dinámica espacial: a la izquierda con tamaño de retícula (1x1) y a la derecha (0.5x0.5).

Figura 98: Superficies polinómicas de Orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde N.-E., en frente queda la zona de mayor valor de frecuencia. Inferior derecha imagen tomada desde S.-W., se percibe a través de la zona de mayor valor de frecuencias.

Figura 99: Superficie polinómica con trama de color población *lobo*.

Figura 100: Gradiente de la población en 2D.

Figura 101: Gradiente 3D de la distribución lobo marino episodio A. La orientación es N.-E. Se incluye misma imagen pero sin trama de color desde S.-E- y N.-W.

Figura 102: Imagen que representa las zonas de cambio elevado en la tasa espacial para casos de frecuencia relativamente moderadas.

Figura 103: Imagen que representa las zonas de cambio elevado en la tasa espacial para casos de frecuencia relativamente moderadas.

Figura 104: Imagen compuesta por una salida gráfica de la frecuencia (Past, aplicación del algoritmo *Thin -plane Splin*) y la tabla de contingencia.

Figura 105: Isolíneas de la distribución, en rojo la localización de la media, en amarillo la localización de la desviación.

Figura 106: Imagen del Correlograma de la distribución *lobo*.

Figura 107: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. En la parte inferior, se incluye una representación de la distribución en base a un único tamaño de retícula (0.5x0.5).

Figura 108: Superficie polinómica de Orden 4. Superior izquierda imagen tomada desde S.-E., intermedio derecha, N.-W., inferior izquierda, S.-W.

Figura 109: Superficie polinómica con trama de color de la población *lobo*.

Figura 110: Gradiente de la población lobo episodio F en 2D.

Figura 111: Gradiente 3D de la distribución. Se toman dos imágenes para remarcar la visualización: Superior derecha S.-E. Inferior derecha N.-W. Aparecen las tramas sin color en las que se aprecia la deformación.

Figura 112: Imagen del gradiente sin la trama de color. Este formato permite visualizar con mayor nitidez la deformación estructural.

Figura 113: Imagen de la superficie polinómica de *lobo marino* en episodio A.

Figura 114: Imágenes de la superficie polinómica superior S.-E., e inferior N.-W.

Figura 115: Imagen 2D del gradiente espacial.

Figura 116: Imágenes del gradiente visto desde N.-E (superior) y S.-E (inferior).

Figura 117: Imagen del gradiente entramado visto desde S.-E. Con ello, se consigue visualizar la forma de las regiones donde la tasa de cambio es baja.

Figura 118: Imágenes de la superficie polinómica desde N.-E y S.-E.

Figura 119: Gradiente en 2D. Según los valores de escala, la tasa de cambio es moderadamente baja hasta el 30-35%. Es interesante ver las isoclinas de tasa de cambio del 50% y el 75%.

Figura 121: Imagen del gradiente entramado visto desde S.-W. Con ello se consigue visualizar la forma de las regiones donde la tasa de cambio es baja, la mayor al E. y una más pequeña en el W.

Figura 122: Secuencia esquemática del *episodio* A, al partir de un espacio sin restricciones en la localización de la acción, la atracción espacial se mueve con mayor grado de libertad que la repulsión. Composición realizada en base a imágenes de Estévez & Vila.

Figura 123: Secuencia esquemática del *episodio* F donde se muestran la situación previa, la cual condiciona la dinámica espacial vigente dicho episodio. Composición realizada en base a las imágenes de Estévez & Vila.

Figura 124: Recreación del proceso de ahumado y secado de alimentos en una estructura efímera asociada a un fogón. Imagen tomada de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s03.htm

Figura 125: Agentes *yámanas* encima y rodeados de efectos materiales de acciones (posibles desechos de consumo: restos de valvas de diferentes tipos de moluscos) Imagen tomada de <http://www.revista.serindigena.org>

Figura 126: Visualización de la nube de puntos (izquierda) y densidad Kernel (derecha).

Figura 127: Visualización del histograma 3D. Izquierda vista S.-W, derecha vista desde N.-W.

Figura 128: Isolíneas y ubicación de media (amarillo) y desviación estándar (rojo).

Figura 129: Imagen de la aleatoriedad espacial detectada mediante la función del vecino más próximo. En rojo la función teórica aleatoria, en azul la función de la distribución. Aparentemente, parece que distan mucho entre sí ambas funciones, pero no es así, ya que la amplitud en el eje Y es de solo 0.1, lo que indica la semejanza entre ambas funciones contrastando la aleatoriedad espacial.

Figura 130: Gráfico de la función K (d) de Ripley para la distribución.

Figura 131: Imagen del Correlograma de la distribución.

Figura 132: Imagen compuesta por el semivariograma, se marca en círculo discontinuo el *rango* y el valor de autocorrelación. Parte inferior, salida gráfica de las retículas con su valor de frecuencia localizadas (tonos fríos mayor valor, tonos cálidos, valores de frecuencia bajos) en el área muestral (el N. está hacia abajo), visualizándose claramente la aleatoriedad en la distribución de los valores.

Figura 133: Superficie polinómica vistas desde N.-W. (superior izquierda) y N.-E. (inferior derecha).

Figura 134: Imagen con trama de color tomada desde S.-W.

Figura 135: Imagen en 2D y 3D del gradiente desde N.-W., destacan la irregularidad en la distribución de la tasa de cambio espacial por toda el área muestral y el elevado valor porcentual del cambio (tonos fríos parten desde una tasa de cambio superior al 25%).

Figura 136: Imagen del gradiente sin trama de color desde, N.-W. a la izquierda, y a la derecha S.-E. para visualizar la irregularidad en la distribución de valores en las retículas (sin seguir ningún patrón espacial).

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Medidas de centralidad de las poblaciones aleatorias datos coordenados.

Tabla 2: Medidas de regularidad de las poblaciones aleatorias datos campo escalar.

Tabla 3: Resultados del Test del vecino más próximo.

Tabla 4: Medidas de centralidad de las poblaciones agregadas datos coordenados.

Tabla 5: Medidas de regularidad de las poblaciones agregadas datos *campo escalar*.

Tabla 6: Resultados del Test del vecino más próximo.

Tabla 7: Medidas de centralidad de las población uniforme de datos coordenados.

Tabla 8: Medidas de centralidad de las población uniforme con los datos de *campo escalar*.

Tabla 9: Descriptores de la regularidad espacial.

Tabla 10: Descriptores de la regularidad espacial.

Tabla 11: Descriptores de la regularidad espacial.

Tabla 12: Descriptores de la regularidad espacial.

Tabla 13: Descripción de la distribución en base a los datos coordenados.

Tabla 14: Descripción de la distribución en base al campo escalar.

ANEXO DE SOFTWARE APLICADO

Programas empleados en el cálculo estadístico:

Spss (v. 15.0)

Past (Paleontological Data Analysis)

JMP 7.0

Crimestat III

Stats4U

Vesper (v. 1.6)

S.A.U. (Spatial Analysis Utilities)

PASSaGE 2

R Estadística (Spatial Analysis)

Programas usados para visualización de resultados:

RockWorks (v. 2006)

Manifold System 7.0 (v. 2006)

M F Works